



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENEIRA  
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**Título: “Sistema de control automatizado para optimizar tiempos en el proceso de secado mediante el deshidratador del laboratorio de operaciones unitarias de ingeniería industrial.”**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Industrial**

**Autor:**

**Piedra Jara Alejandra Elizabeth**

**Tutor:**

**Mag. Ángel Alberto Silva Conde.**

**Riobamba, Ecuador. 2022**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Alejandra Elizabeth Piedra Jara, con cédula de ciudadanía 0604458521, autor (a) del trabajo de investigación titulado: "Sistema de control automatizado para optimizar tiempos en el proceso de secado mediante el deshidratador del laboratorio de operaciones unitarias de ingeniería industrial.", certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 3 de mayo de 2022.



(Firma)

---

Alejandra Elizabeth Piedra Jara

C.I:0604458521

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ángel Alberto Silva Conde catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Sistema de control automatizado para optimizar tiempos en el proceso de secado mediante el deshidratador del laboratorio de operaciones unitarias de ingeniería industrial, bajo la autoría de Alejandra Elizabeth Piedra Jara; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 3 días del mes de mayo de 2022.



(Firma)

Ángel Alberto Silva Conde

C.I:0603969381

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“Sistema de control automatizado para optimizar tiempos en el proceso de secado mediante el deshidratador del laboratorio de operaciones unitarias de ingeniería industrial.”**, presentado por Piedra Jara Alejandra Elizabeth, con cédula de identidad número 0604458521, bajo la tutoría de Mg. Ángel Alberto Silva Conde; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 17 de mayo de 2022.

Presidente del Tribunal de Grado  
PhD. Patricio Villacrés



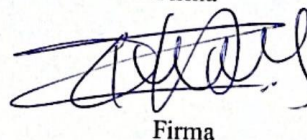
Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
PhD. Mario Cabrera



Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
Mgs. Magdala Lema



Firma



# CERTIFICACIÓN

Que, **PIEDRA JARA ALEJANDRA ELIZABETH** con CC: **06044 58521**, estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA OPTIMIZAR TIEMPOS EN EL PROCESO DE SECADO MEDIANTE EL DESHIDRATADOR DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**", que corresponde al dominio científico **DESARROLLO TERRITORIAL PRODUCTIVO Y HABITAD SUSTENTABLE PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA** y alineado a la línea de investigación **INGENIERÍA, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN**, cumple con el 3%, reportado en el sistema Anti plagio URKUND, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 28 de abril de 2022



emitido digitalmente por:  
**ANGEL ALBERTO  
SILVA CONDE**

Mgs. Angel Alberto Silva Conde  
**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

Me gustaría de dedicar este trabajo a todas las personas que me han acompañado a lo largo de mi formación profesional y también de mi diario vivir, en especial a mis padres: Sandra y Alejandro, quienes han sido mi apoyo incondicional durante toda esta travesía siempre ayudándome, guiándome de la mejor manera de igual forma a mi hermana menor Isabela parte fundamental de mi vida y un gran apoyo para mí, querida familia esto es para ustedes.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero empezar agradeciendo a Dios por la oportunidad de estudiar esta carrera y la gran oportunidad que me ha dado, también agradezco a mis padres: Sandra y Alejandro por haberme ayudado a llegar donde estoy no lo hubiera logrado sin su apoyo y guía permanente de igual manera a mi hermana menor Isabela quien ha sido un gran apoyo para mí en todo momento, también a mi familia en especial a mi prima Abigail por estar conmigo en mis mejores y peores momentos, finalmente quiero agradecer a cada uno de mis docentes a lo largo de la carrera por su paciencia y guía a lo largo de mi formación profesional en especial a mi tutor de tesis el Ing. Ángel Silva que me apoyo desde el primer día que expuse mi tema y me ha acompañado durante todo el proceso de realización del mismo y de igual manera a los miembros de mi tribunal al Ing. Mario Cabrera y también a la Ing. Magdala Lema por todo su apoyo en este proceso.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvi
RESUMEN .....	xviii
ABSTRACT .....	xx
INTRODUCCIÓN.....	xxi
CAPÍTULO I. PROBLEMATIZACIÓN .....	22
1.1    Planteamiento del problema .....	22
1.2    Objetivos.....	23
1.2.0    Objetivo General.....	23
1.3    Formulación del problema.....	24
1.4    Justificación .....	24
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	25
2.1    Antecedentes de investigación.....	25
2.2    Estado del arte .....	27
2.3    Fundamentación Teórica .....	28
2.3.0 <i>Proceso de Secado</i> .....	28
2.3.1 <i>Humedad</i> .....	28
2.3.1.1    Porcentaje de humedad.....	29
2.3.1.2    Porcentaje de humedad relativa.....	29
2.3.2 <i>Secado durante el período de velocidad constante</i> .....	30
2.3.3 <i>Efecto de la velocidad del aire</i> .....	30
2.3.4 <i>Curva de velocidad de secado</i> .....	30
2.3.4.1    Determinación de la velocidad de secado .....	30
2.3.4.2    Curva de velocidad para secado constante.....	31
2.3.5 <i>Métodos de cálculo para el período de secado de velocidad constante</i> .....	33



2.3.5.1	Método de curvas experimentales de secado .....	33
2.3.5.2	Métodos de curva de secado.....	34
2.3.6	<i>Ecuaciones para predecir el secado de velocidad constante</i> .....	34
2.3.7	<i>Efecto de la velocidad del aire</i> .....	37
2.3.8	<i>Transferencia de calor por combinación de convección, radiación y conducción durante el período de velocidad constante</i> .....	37
2.3.9	Deducción de la ecuación para convección, conducción y radiación.....	38
2.3.10	Automatización de procesos y equipos .....	39
2.3.10.1	Razones para aplicar automatización de procesos y equipos .....	39
2.3.10.2	Niveles de automatización .....	39
2.3.10.2.1	Nivel de Sensado.....	40
2.3.10.2.2	Nivel de control.....	40
2.3.10.2.3	Nivel de supervisión .....	40
2.3.10.2.4	Nivel de gestión .....	40
2.3.11	<i>Elementos para controlar y monitorear el secador</i> .....	40
2.3.11.1	Motor trifásico.....	40
2.3.11.2	Variador de frecuencia .....	41
2.3.11.3	Visor de Voltaje .....	41
2.3.11.4	Visor de amperaje.....	42
2.3.11.5	PLC.....	42
2.4	Glosario De Términos Básicos .....	42
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....		43
3.1	Diseño De Investigación.....	43
3.2	Tipo De Investigación .....	43
3.3	Técnicas De Recolección De Datos.....	44
3.4	Población De Estudio y Tamaño De Muestra. ....	44
3.5	Métodos de análisis y procesamiento de datos.....	44

3.5.0	Parámetros técnicos del deshidratador .....	45
3.5.0.1	Motor Original.....	45
3.5.0.2	Selección del motor.....	46
3.5.0.3	Selección del variador de frecuencia.....	46
3.5.0.4	Materiales .....	47
3.5.0.5	Reemplazo del motor .....	47
3.5.0.6	Conexiones.....	49
3.5.0.7	Programación del control de velocidad del motor .....	52
3.5.0.7.1	Pasos para el uso del control de velocidad y generación de reportes	56
3.5.0.8	Configuración del control de peso .....	63
3.5.0.8.1	Chequeo y mantenimiento de la Balanza Actual .....	63
3.5.0.8.2	Adaptación de la balanza al deshidratador.....	67
3.5.0.9	Presupuesto.....	67
3.5.1	Comprobación de la mejora en la precisión de los datos .....	68
3.5.1.1	Obtención de datos de deshidratado para el producto.....	68
3.5.1.1.1	Materiales.....	68
3.5.1.1.2	Máquinas y Equipos.....	69
3.5.1.1.3	Proceso.....	69
3.6	Hipótesis .....	70
3.6.0	Operacionalización de Variables .....	71
3.7	Línea base .....	72
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		72
4.1	Análisis de las condiciones actuales del deshidratador mediante pruebas de laboratorio.....	72
4.1.0	Resultados de la investigación antes de la aplicación .....	73
4.1.1	Bandeja normal.....	73
4.1.1.1	Cálculo de la humedad .....	74

4.1.1.2	Velocidad de secado.....	74
4.1.1.2.1	Cálculo de Velocidad de masa (G) .....	76
4.1.1.2.2	Determinar el Coeficiente de Convección .....	76
4.1.1.2.3	Determinar la Velocidad de Secado.....	76
4.1.1.3	Tiempo de secado.....	77
4.1.1.4	Curva de secado .....	78
4.1.2	Bandeja con agujeros.....	78
4.1.2.1	Cálculo de la humedad .....	79
4.1.2.2	Velocidad de secado.....	80
4.1.2.2.1	Cálculo de Velocidad de masa (G) .....	81
4.1.2.2.2	Determinar el Coeficiente de Convección .....	81
4.1.2.2.3	Determinar la Velocidad de Secado.....	82
4.1.2.3	Tiempo de secado.....	82
4.1.2.4	Curva de secado .....	83
4.2	Cambio del motor monofásico del ventilador del deshidratador a trifásico para obtener un flujo de aire variable.....	84
4.2.0	Resultados de la investigación después de la aplicación del motor y variador de frecuencia.....	85
4.2.1	Bandeja sin agujeros.....	85
4.2.1.1	Cálculo de la humedad .....	86
4.2.1.2	Velocidad de secado.....	86
4.2.1.2.1	Cálculo de Velocidad de masa (G) .....	87
4.2.1.2.2	Determinar el Coeficiente de Convección .....	88
4.2.1.2.3	Determinar la Velocidad de Secado.....	88
4.2.1.3	Tiempo de secado.....	89
4.2.1.4	Curva de secado .....	89
4.2.2	Bandeja con agujeros.....	90
4.2.2.1	Cálculo de la humedad .....	91

4.2.2.2	Velocidad de secado.....	91
4.2.2.2.1	Cálculo de Velocidad de masa (G) .....	93
4.2.2.2.2	Determinar el Coeficiente de Convección .....	93
4.2.2.2.3	Determinar la Velocidad de Secado.....	93
4.2.2.3	Tiempo de secado.....	94
4.2.2.4	Curva de secado .....	95
4.3	Instalación y programación del variador de frecuencia en el sistema de control del deshidratador con el ingreso de parámetros del motor para controlar su velocidad.....	96
4.3.0	Resultados finales de la investigación después de la aplicación completa....	96
4.3.1	Bandeja sin agujeros.....	97
4.3.1.1	Cálculo de la humedad .....	98
4.3.1.2	Velocidad de secado.....	98
4.3.1.2.1	Cálculo de Velocidad de masa (G) .....	99
4.3.1.2.2	Determinar el Coeficiente de Convección .....	100
4.3.1.2.3	Determinar la Velocidad de Secado.....	100
4.3.1.3	Tiempo de secado.....	101
4.3.1.4	Curva de secado .....	102
4.3.2	Bandeja con agujeros.....	102
4.3.2.1	Cálculo de la humedad .....	103
4.3.2.2	Velocidad de secado.....	104
4.3.2.2.1	Cálculo de Velocidad de masa (G) .....	105
4.3.2.2.2	Determinar el Coeficiente de Convección .....	105
4.3.2.2.3	Determinar la Velocidad de Secado.....	106
4.3.2.3	Tiempo de secado.....	106
4.3.2.4	Curva de secado .....	107
4.4	Programación del controlador mediante software de ingeniería para el registro de las variables del proceso en un reporte.....	108
4.4.0	Bandeja con agujeros.....	108

4.4.1	Bandeja sin agujeros .....	109
4.5	Línea base actual .....	111
CAPÍTULO V. MARCO HIPOTÉTICO .....		112
5.1	Planteamiento de la Hipótesis.....	112
5.1.0	Hipótesis Estadística.....	112
5.1.1	Nivel de significación.....	112
5.1.2	Criterio.....	112
5.1.3	Cálculo.....	113
5.1.4	Decisión.....	114
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		114
6.1	Conclusiones.....	114
6.2	Recomendaciones .....	115
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	115
8.	ANEXOS .....	119
8.1	Anexo 1: Ensayo antes de la aplicación. ....	119
8.2	Anexo 2: Cambio del motor. ....	121
8.3	Anexo 3: Instalación del variador de frecuencia. ....	124
8.4	Anexo 4: Instalación del voltímetro y amperímetro.....	126
8.5	Anexo 5: Programación del control de velocidad. ....	127
8.6	Anexo 6: Ensayo después de la aplicación del motor y variador de frecuencia. 130	
8.7	Anexo 6: Readecuación de la balanza. ....	132
8.8	Anexo 8: Colocación de la balanza y encerado.....	133
8.9	Anexo 9: Ensayo final con todas las aplicaciones y control de peso. ....	134
8.10	Anexo 10: Costos.....	138
	.....	138

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Parámetros técnicos del motor original .....	45
Tabla 2. Parámetros técnicos del motor seleccionado .....	46
Tabla 3. Parámetros técnicos del variador de frecuencia seleccionado.....	46
Tabla 4. Materiales empleados .....	47
Tabla 5. Características de rúter .....	52
Tabla 6. Parámetros técnicos de la balanza actual.....	63
Tabla 7. Presupuesto.....	67
Tabla 8. Porcentajes de humedad inicial y temperaturas máximas permisibles.....	70
Tabla 9. Operacionalización de las variables .....	71
Tabla 10.....	72
Tabla 11. Relación peso-tiempo del producto .....	73
Tabla 12. Cálculo de pérdida de humedad .....	74
Tabla 13. Interpolación.....	75
Tabla 14. Relación peso-tiempo del producto .....	79
Tabla 15. Cálculo de pérdida de humedad .....	79
Tabla 16. Interpolación.....	80
Tabla 17. Relación peso-tiempo del producto .....	85
Tabla 18. Cálculo de pérdida de humedad .....	86
Tabla 19. Interpolación.....	86
Tabla 20. Relación peso-tiempo del producto .....	91
Tabla 21. Cálculo de pérdida de humedad .....	91
Tabla 22. Interpolación.....	92
Tabla 23. Relación peso-tiempo del producto .....	97
Tabla 24. Cálculo de pérdida de humedad .....	98

Tabla 25. Interpolación.....	98
Tabla 26. Relación peso-tiempo del producto .....	103
Tabla 27. Cálculo de pérdida de humedad .....	103
Tabla 28. Interpolación.....	104
Tabla 29. Datos de los ensayos.....	113
Tabla 30. Prueba z para medias de dos muestras. ....	113

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva típica de velocidad de secado para condiciones constantes .....	32
Figura 2. Transferencia de masa y calor durante el período de velocidad constante .....	34
Figura 3. Transferencia de calor y de masa en un sólido en la superficie. ....	38
Figura 4. Paralelismos de automatización. ....	39
Figura 5. Desmontaje del motor .....	48
Figura 6. Base del motor.....	48
Figura 7. Montaje del motor .....	49
Figura 8. Instalaciones del motor .....	49
Figura 9. Diagrama eléctrico del secador. ....	50
Figura 10. Diagrama eléctrico actualizado .....	51
Figura 11. Descarga de la programación del LOGO .....	53
Figura 12. Programación del control de velocidad.....	54
Figura 13. Programación para la descarga de datos .....	54
Figura 14. Programación para el control de velocidad.....	55
Figura 15. Diseño de la interfaz.....	56
Figura 16. Servidor Web .....	57
Figura 17. Pantalla de control.....	58
Figura 18. Descarga de datos.....	59
Figura 19. Ventana de conexión al LOGO .....	60
Figura 20. Datos descargados .....	61
Figura 21. Carga de datos .....	61
Figura 22. Importar datos .....	62
Figura 23. Carga de datos .....	62
Figura 24. Datos finales del ensayo.....	63



Figura 25. Informe técnico de la balanza .....	66
Figura 26. Balanza encerada.....	67
Figura 27. Datos en Toolbox .....	76
Figura 28. Curva de secado, bandeja sin agujeros.....	78
Figura 29. Datos Toolbox.....	82
Figura 30. Curva de secado, bandeja con agujeros.....	83
Figura 31. Temperatura en el producto .....	84
Figura 32. Datos en Toolbox .....	88
Figura 33. Curva de secado, bandeja sin agujeros.....	89
Figura 34. Datos en Toolbox .....	94
Figura 35. Curva de secado, bandeja con agujeros.....	95
Figura 36. Temperatura en el producto .....	96
Figura 37. Datos en Toolbox .....	100
Figura 38. Curva de secado, bandeja con agujeros.....	102
Figura 39. Datos en Toolbox .....	106
Figura 40. Curva de secado, bandeja con agujeros.....	107
Figura 41. Reporte de datos.....	108
Figura 42. Control de temperatura.....	109
Figura 43. Reporte de datos.....	110
Figura 44. Control de temperatura.....	111

## RESUMEN

Piedra Jara, A (2022). Sistema de control automatizado para optimizar tiempos en el proceso de secado mediante el deshidratador del laboratorio de operaciones unitarias de ingeniería industrial. Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. La automatización es una herramienta sumamente útil y necesaria al momento de mejorar e innovar procesos tiene varios beneficios como son mejora en la productividad, calidad, seguridad, reducción de costes, flexibilidad, entre otros.

El laboratorio de operaciones unitarias empleado en las prácticas de los estudiantes de la carrera de ingeniería industrial de la Universidad Nacional de Chimborazo cuenta con un deshidratador de bandejas que posee un sistema de automatización muy básico ya que solo controla su encendido, apagado y nivel de temperatura pero no permite la variación o manipulación sobre otras variables importantes que influyen en los diferentes procesos de secado a realizarse en el mismo, cabe recalcar que en este proceso es vital la adquisición de parámetros tales como temperatura de secado y peso, ya que servirán para realizar mediciones indirectas de otros parámetros como la humedad relativa y también evitar que se pierdan las propiedades del producto a deshidratar.

Al no poder controlar el flujo de aire en el deshidratador produce una demora en el tiempo final del producto y la toma de estos datos no poseen gran variabilidad y no permite apreciar cambios realmente notables en el producto durante el tiempo asignado a las practicas.

Debido a esto se realizó la implementación de un sistema de monitoreo y control que permito manipular las variables de manera que reduzcan los tiempos del proceso mediante la instalación de un motor trifásico y un variador de frecuencia para controlarlo. Esto permito acelerar el tiempo del proceso de secado volviéndolo así más eficiente y reduciendo el tiempo de duración de este.

**Palabras claves:** Deshidratador de bandejas, Secado, Variador de frecuencia, Flujo de aire.

## Abstract

Piedra Jara, A (2022). Automated control system to optimize times in the drying process through the dehydrator of the industrial engineering unit operations laboratory. National University of Chimborazo. Riobamba, Ecuador. Automation is an extremely useful and necessary tool when improving and innovating processes. It has several benefits such as improved productivity, quality, safety, cost reduction, flexibility, among others.

The unit operations laboratory used in the practices of the students of the industrial engineering career of the National University of Chimborazo has a tray dehydrator that has a very basic automation system since it only controls its on, off and temperature level. but it does not allow the variation or manipulation of other important variables that influence the different drying processes to be carried out in it, it should be emphasized that in this process the acquisition of parameters such as drying temperature and weight is vital, since they will serve to carry out indirect measurements of other parameters such as relative humidity and also prevent the properties of the product to be dehydrated from being lost.

Not being able to control the air flow in the dehydrator produces a delay in the final time of the product and the taking of these data does not have great variability and does not allow to appreciate really notable changes in the product during the time assigned to the practices.

Due to this, the implementation of a monitoring and control system was carried out that allows the variables to be manipulated in a way that reduces the process times through the installation of a three-phase motor and a frequency inverter to control it. This allows the time of the drying process to be accelerated, thus making it more efficient and reducing its duration.

**Keywords:** Tray dehydrator, Drying, Frequency inverter, Air Flow



Reviewed by:  
Lcdo. Alexander Pérez Herrero  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C. 1757815798

## INTRODUCCIÓN

La Cuarta Revolución Industrial, también conocida como industria 4.0, está cambiando la forma en que los negocios operan y, por lo tanto, los entornos en los que se ven obligados a competir. Las organizaciones deben identificar las tecnologías que mejor satisfacen sus necesidades para invertir en ellas.

Según NAJI (2018) “el desajuste entre las competencias demandadas por las empresas y las ofrecidas por los trabajadores, es aún más alarmante si tenemos en cuenta que en el contexto de la IV Revolución Industrial se viene gestando ya un cambio en la gran mayoría de las ocupaciones” (p.3), es así que la automatización industrial es una herramienta fundamental para el control y mejora de procesos, enfocándose principalmente en la reducción de errores y facilitar el trabajo de los operadores.

Mediante los avances tecnológicos de la nueva era se ha visto indispensable la automatización y readecuación a un nuevo nivel que permita obtener los datos generados por el deshidratador de forma segura y eficiente. Es por esto que la presente investigación tiene como objetivo generar reportes a través del diseño de un sistema de control y monitoreo para el proceso de secado en el deshidratador del laboratorio de operaciones unitarias de ingeniería industrial ya que este equipo es muy necesario para el desarrollo de prácticas dentro de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

# CAPÍTULO I. PROBLEMATIZACIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

A nivel internacional la Cuarta Revolución Industrial podría generar crecimiento económico si logra una mayor productividad, eficiencia y una reducción en los costos operativos ( Mario Ramón Duarte, 2018); con respecto a la región Latinoamérica y el Caribe, los gobiernos deben desarrollar estrategias, con el fin de aprovechar al máximo la tecnología en el ámbito laboral, y al mismo tiempo mitigar los riesgos de expansión, de acuerdo al informe de al menos cuatro organismos de desarrollo en la región, Latinoamérica y el Caribe tienen un nivel de automatización decadente ya sea en ámbito laboral como académico (Mario Ramón Duarte, 2018), por lo tanto se evidencia que a nivel internacional la automatización industrial ya sea en el ámbito académico o laboral es muy necesaria y lamentablemente decadente en Latinoamérica y el Caribe.

En Ecuador muchas empresas y universidades a medida que ha crecido la demanda optan por mejorar el sistema mediante la adquisición de máquinas automáticas o integración de dispositivos programables en sus equipos para que realicen operaciones requeridas ejecutando circuitos diseñados y programados en software (Quinteros, Zurita y Zambrano, 2020), tristemente debido a costes de instalación y dejando al ser humano realizar tareas tediosas, peligrosas o insalubres, además de que no se tiene gran conocimiento de los diseños de programación en software aplicados al proceso industrial (Quinteros, Zurita y Zambrano, 2020), con esta información se puede evidenciar que en Ecuador varias empresas y laboratorios de las universidades no son repotenciados desde hace varios años debido a los costos o falta de conocimiento, volviendo la metodología de aprendizaje obsoleta para los estudiantes.

En la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo en el laboratorio de operaciones unitarias, existe un deshidratador que posee fallas que afectan el rendimiento del proceso de secado, provocando varios problemas dentro de la producción principalmente en el tiempo. Los estudiantes tienen un máximo de 2 horas para realizar las prácticas en este equipo, ingresan las bandejas con el producto al deshidratador y lo encienden, sin ningún tipo de control adicional sobre los factores que influyen en el proceso hasta el resultado final.

El estudiante cada cierto tiempo debe abrir el deshidratador y extraer las bandejas para notar si existe algún cambio físico en el producto, haciendo de esto una espera tediosa y un resultado no muy satisfactorio al distinguir mínimos cambios para la toma de datos que servirán para elaborar el informe una vez finalizada la práctica.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.0 Objetivo General**

Implementar un sistema de control y monitoreo mediante la automatización del proceso de secado en el deshidratador del laboratorio de Operaciones Unitarias de Ingeniería Industrial para optimizar el tiempo del mismo.

#### Objetivos Específicos

- Analizar las condiciones actuales del deshidratador mediante pruebas de laboratorio para estudiar el proceso y mejorar el sistema de control y monitoreo.
- Cambiar el motor monofásico del ventilador del deshidratador a trifásico mediante un rediseño o adecuación mecánica de la máquina para obtener un flujo de aire variable.
- Instalar y programar un variador de frecuencia en el sistema de control del deshidratador con el ingreso de parámetros del motor para controlar su velocidad.

- Programar el controlador del deshidratador mediante software de ingeniería para el registro de las variables del proceso en un reporte.

### **1.3 Formulación del problema**

¿Cómo la implementación de un sistema de control automatizado optimiza el tiempo final del proceso de secado?

### **1.4 Justificación**

La presente investigación fue realizada por una estudiante de la carrera de ingeniería industrial y un grupo de docentes de la Universidad Nacional de Chimborazo. Los motivos que llevaron a la investigación e implementación de un sistema de control y monitorio en el deshidratador de bandejas del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad Nacional de Chimborazo son el poder ejercer control sobre el proceso de secado que se realiza en el mismo y optimizar el tiempo final del mismo.

Los estudiantes que han utilizado dicha maquina en las practicas del laboratorio consideran de suma importancia el tiempo que se emplea en ella ya que al ser las prácticas de dos horas solamente no se aprecia gran cambio en el producto a deshidratar y la implementación permite controlar la variable del flujo de aire y por ende mejorar el tiempo de secado de los productos, volviendo el deshidratador más atractivo para los estudiantes y mucho más dinámico por ello se procedió a cambiar el motor monofásico que ahí existía por un trifásico que mediante un variador de frecuencia permite controlar el flujo de aire y así tener un mejor control sobre los procesos que se lleven a cabo en el deshidratador.

Este estudio puede permitir muchas mejoras más en maquina a futuro que la hagan cada vez mejor y más óptima para cualquier tipo de proceso ya que deja establecida una



base de programación y automatización sólida sobre la cual se puede trabajar y efectuar cualquier cambio necesario ajustándose a la necesidad actual de los docentes y estudiante que lo utilicen además de contar con un panel de control con varios elementos que permitan apreciar no solo su temperatura y flujo de aire sino también si control de voltaje y amperaje para verificar el correcto funcionamiento del deshidratador.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 Antecedentes de investigación**

Brito y Espinoza (2016), realizan un proyecto de investigación denominado “Diseño de un sistema de control de temperatura con monitoreo de peso de un secador didáctico para realizar pruebas de secado” en la Escuela superior politécnica del litoral para la obtención del título de Ingeniero en electricidad especialización electrónica y automatización industrial.

El proyecto consiste en diseñar e implementar un control de temperatura mediante el uso de un controlador lógico programable de gama media, donde el usuario tendrá la posibilidad de establecer la temperatura que se considere idónea para la deshidratación del producto, considerando las recomendaciones se establece que la temperatura de bulbo seco favorable para realizar prácticas debe ser de 50 C. (p.13)

Adicionalmente, se desarrolló en el programa computacional LABVIEW para que el usuario observe las variaciones que tendrá el peso del producto conforme transcurra el tiempo, también se registraron historiales de temperatura de bulbo seco y peso del producto, los mismos que sirvieron para generar gráficos que detallen el comportamiento de las variables. (p.13)

Se buscó optimizar el diseño del secador didáctico, modificando las siguientes partes:

- Puerta, se traba al momento de abrir o cerrar; por lo que se le realizará las respectivas reparaciones además de tener pérdidas de calor.
- Ventilador, el cual se encuentra ubicado en la parte posterior del secador y al ser encendido de forma manual deja las aspas expuestas, con el riesgo de provocar un accidente; por esta razón se elaborará un protector para las aspas que no afecte su funcionamiento. (p.14)

Para terminar, se logró determinar un control de temperatura efectivo para el secador que ayudó a la mejora de las características del proceso mediante la recirculación de aire en el túnel permitiendo la pérdida correcta de peso necesario en los productos. Las falencias en diseño del secador fueron corregidas, logrando una reducción considerable en los riesgos de uso mediante la optimización del proceso. (p.52)

Se diseñó un programa en el cual se visualiza el almacenamiento de los valores de las características importantes presentes en el proceso de secado. La fuerte influencia de los parámetros medidos en los cálculos necesitados por los usuarios fue identificada, por lo que se realizó una adquisición exacta de datos para obtener un buen comportamiento del proceso. El PLC S7-1200 instalado en el tablero puede ser utilizado en proyectos posteriores, ya que cuenta con características suficientes para controlar gran cantidad de equipos a través de módulos de expansión. (p.52).

Todo esto permitió reducir al mínimo la intervención manual en la operación de secado, dando como resultado un proceso completamente automatizado que facilita la

visualización de datos necesarios para que el usuario pueda monitorear y verificar el comportamiento de los productos que se introducen en el secador didáctico.

## **2.2 Estado del arte**

Se pretende ser un aporte para el estudio de la operación unitaria de secado de sólidos, de manera que se presenta toda la información teórica para realizar el diseño y posterior implementación para la automatización del deshidratador de bandejas, facilitando manual de operación para que los usuarios se familiaricen con los cambios efectuados y realizar un correcto uso, evitando accidentes y daño de equipos.

Bautista, Rodríguez y Rubio (2012), realizan un proyecto de investigación denominado “Propuesta de automatización e instrumentación en un secador de bandejas” en el Instituto Politécnico Nacional para la obtención del título de Ingeniero en electricidad especialización electrónica y automatización industrial. El proyecto consiste en diseñar e implementar un control de automatización e implementación mediante el uso de un controlador lógico programable, donde el usuario tendrá la posibilidad de establecer la velocidad de aire que se considere idónea para la deshidratación del producto y disminuir tiempos de proceso, considerando las recomendaciones se establece que la temperatura de bulbo seco favorable. (p.55)

Córdova y Velázquez (2015) realizan un proyecto titulado “Automatización del secador de bandejas para el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la ESPOL”, en este se afirma que estudiantes de la carrera de Ingeniería Química implementaron el diseño y construcción de un secador didáctico para realizar pruebas de secado con lo que facilitaba la manipulación, almacenamiento y estudio de diversos productos que podrán ser usados en investigaciones y ayudando a desarrollar prácticas para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química. . (p.17)

El secador tiene implementado un método de indicadores de distintos parámetros como lo son temperatura y peso, pero no posee un control eficiente en el proceso de secado ya que el control de temperatura se realiza de forma manual mediante una compuerta para mantener el Set Point deseado dependiendo del producto a secar. (p.14)

El creciente avance de la tecnología en el laboratorio de operaciones unitarias obliga a un rediseño y mejora de este secador didáctico mediante soluciones de automatización de gran eficiencia como se puede encontrar en un PLC de diferentes marcas como Siemens o Rockwell Automación brindándonos un mejor control del proceso y obtención de datos importantes para una base de datos funcional que ayudará en investigaciones posteriores. (p.15)

## **2.3 Fundamentación Teórica**

### **2.3.0 *Proceso de Secado***

Seader (2011) manifiesta que: “El secado es la eliminación de la humedad ya sea agua u otros compuestos volátiles de los sólidos, soluciones, lodos y pastas para obtener productos sólidos”.

Es importante saber que cuando se habla de secado, no debe vincularse con la evaporación, debido a que en este último se debe llegar a una temperatura de ebullición para que el líquido sea eliminado. Mientras que en el secado el líquido es arrastrado por corrientes de aire a una temperatura elevada, considerando que es menor que la de ebullición. (Seader, 2011 p.726)

### **2.3.1 *Humedad***

Para Geankoplis (2006), en la humedad (H) cuando existe una mezcla vapor de agua-aire se define como cierta cantidad de kilogramos de vapor de agua por cada kilogramo de aire seco. (p.570).

### 2.3.1.1 Porcentaje de humedad

Geankoplis (2006) manifiesta que: “(HP) se define como 100 multiplicado por la humedad real del aire, dividida entre la humedad de saturación que tendría el aire si fuera saturado a esa misma temperatura y presión” (p.579).

Ec.1

$$Hp = 100 \frac{H}{Hs}$$

Donde:

HP = Porcentaje de Humedad.

H = Humedad de una mezcla aire-vapor de agua.

HS = Humedad de saturación.

### 2.3.1.2 Porcentaje de humedad relativa

Siempre que se habla del porcentaje de humedad relativa se debe entender que es “la cantidad de saturación de una mezcla de aire-vapor de agua; también en otros escritos suele manifestarse como porcentaje de humedad relativa (HR), usando presiones parciales” (Geankoplis, 2006, p.579).

Ec.2

$$H_R = 100 \frac{P_A}{P_{AS}}$$

Donde:

HR = Humedad relativa.

PA = Presión parcial del vapor de agua en el aire.

PAS = Presión del vapor de agua pura a la temperatura establecida.

### **2.3.2 *Secado durante el período de velocidad constante***

Geankoplis (2006), manifiesta que, durante este periodo la superficie del sólido está muy húmeda al inicio y sobre ella existe una capa de agua. Esta capa se encuentra siempre sin estar combinada y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación con las condiciones establecidas para el proceso, no depende del sólido y es en esencia igual a la velocidad que tendría un área líquida en estado puro.

La evaporación durante este periodo es similar a la que existe cuando se determina la temperatura de bulbo húmedo, y en ausencia de transferencia de calor por radiación o conducción, la temperatura de la superficie equivale en forma aproximada, a la temperatura de bulbo húmedo. (Geankoplis, 2006)

### **2.3.3 *Efecto de la velocidad del aire***

Siempre y cuando no exista una transferencia de calor por conducción y radiación, la velocidad (RC) de secado en la región de velocidad constante es proporcional a  $h$  y, por tanto, a  $G^{0.8}$ . El efecto de la velocidad del gas es menos importante cuando sí hay conducción y radiación. (Geankoplis, 2006)

### **2.3.4 *Curva de velocidad de secado***

#### **2.3.4.1 *Determinación de la velocidad de secado***

Siempre que se necesita determinar el contenido de humedad de equilibrio de diversos productos no se puede pronosticar de tal manera que se hace obligatorio obtenerlo mediante la vía experimental realizando diferentes ensayos.

Si se desea obtener la velocidad de secado de un producto, primero se procede a colocar una muestra del mismo en una bandeja. Cuando se trate de un producto sólido este debe llenar por completo la base de la bandeja de tal manera que solo quede

expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. Es importante saber que la pérdida de peso de humedad durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colocando la bandeja en una balanza a través del cual fluye el aire de secado. (Geankoplis, 2006)

Geankoplis, (2006) manifiesta que: cuando se desee ejecutar experimentos de secado por lotes, se debe observar determinadas cautelas para obtener datos útiles en condiciones que se asimilen lo más posible a las que dominarán en las operaciones a gran escala. La muestra no debe ser demasiado pequeña y debe introducirse en una bandeja equivalente a la que se usará en producción. Las relaciones de las superficies de secado y las superficies de no secado o superficie aislada, así como la profundidad del lecho del sólido deben ser exactas. La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben iguales y constantes para simular un secado en condiciones invariables.

#### 2.3.4.2 *Curva de velocidad para secado constante.*

Para Geankoplis (2006), los datos que se adquieren de un experimento de secado por lotes universalmente se expresan como  $W$  del sólido húmedo (sólido seco sumado la humedad) a disímiles tiempos de  $t$  horas en el período de secado. Cabe recalcar que estos valores pueden transformarse a datos de velocidad de secado con las siguientes operaciones que se detallan a continuación:

Inicialmente se recalculan los datos; si  $W$  es el peso del sólido húmedo en Kilogramos totales de agua más sólido seco, y  $WS$  es el peso del sólido seco en Kilogramos.

Ec.3

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \frac{\text{Kg totales agua}}{\text{Kg de solido seco}} \left( \frac{\text{lb totales de agua}}{\text{lb solido seco}} \right)$$

Geankoplis (2006), afirma que: Teniendo establecidas las condiciones de secado constante, se establece el contenido de humedad de equilibrio ( $X^*$ ) kg de humedad de equilibrio/kg de sólido seco. Con este se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre ( $X$ ) en kg de agua libre/kg de sólido seco para cada valor de ( $X_t$ ) para lo cual se emplea la siguiente ecuación:

Ec.4

$$X = X_t - X^*$$

Una vez reemplazados los datos calculados en la fórmula 4 se realiza la gráfica del contenido de humedad libre en función del tiempo en horas como se indica en la figura 1.

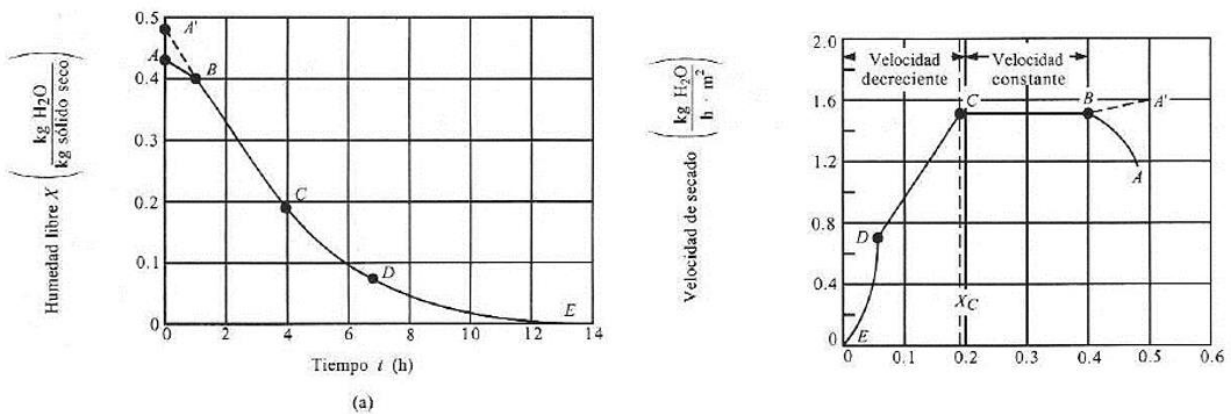


Figura 1. Curva típica de velocidad de secado para condiciones constantes

- a) Gráfica de los datos como humedad libre en función del tiempo;
- b) curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.

Fuente: Procesos de transporte y principios de procesos de separación. Geankoplis, 2006, página 590.

Geankoplis (2006), manifiesta que: para conseguir la curva de secado a partir del esquema antes expuesto se miden las pendientes de las tangentes a la curva en la figura



1-a, lo cual proporciona valores de  $dX/dt$  para ciertos valores de  $t$ . Con esto se deduce entonces la velocidad  $R$  para cada punto con la siguiente expresión:

Ec.5

$$R = -\frac{L_s}{A} \frac{dX}{dt}$$

Donde:

$R$  = velocidad de secado.

$L_s$  = Kg de sólido seco usado.

$A$  = Área superficial expuesta al secado

Cabe mencionar que el secado de diferentes tipos de sólidos, bajo desiguales condiciones invariables de secado casi siempre produce curvas de forma variables en el periodo de velocidad decreciente, pero en general siempre están presentes las dos zonas principales de la curva de velocidad de secado; el periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente. (Geankoplis, 2006)

### **2.3.5 Métodos de cálculo para el período de secado de velocidad constante**

#### **2.3.5.1 Método de curvas experimentales de secado**

Según Geankoplis (2006), el factor más importante en los cálculos del secado es la duración del tiempo requerido para secar un producto a partir de un contenido inicial de humedad libre  $X_1$ , hasta alcanzar un contenido de humedad  $X_2$ . Para el secado en el periodo de velocidad constante, es viable estimar el tiempo necesario mediante curvas de secado obtenidas con lotes experimentales, o por predicciones de coeficientes de transferencia de masa y calor.

### 2.3.5.2 Métodos de curva de secado

Para tasar el tiempo de secado de un lote, el mejor método consiste en obtener datos experimentales reales bajo condiciones de alimentación, área superficial relativa expuesta, velocidad del gas, temperatura y humedad, que sean en esencia las mismas que tendrá el deshidratador que se usará en la práctica. De esta manera, el tiempo requerido para el periodo de velocidad constante puede determinarse directamente con la curva de secado de contenido de humedad libre en función del tiempo. (Geankoplis, 2006, p.594)

Ec.6

$$t = t_2 - t_1$$

### 2.3.6 Ecuaciones para predecir el secado de velocidad constante

Geankoplis (2006) afirma que: cuando se opera en estado estable, la velocidad de transferencia de masa valer por a la velocidad de transferencia de calor. La velocidad de eliminación del vapor de agua (secado) está fiscalizada por la velocidad de transferencia de calor hasta la superficie de evaporación, que suministra el calor latente de evaporación para el líquido.

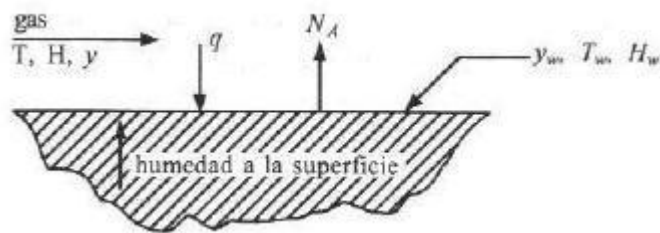


Figura 2. Transferencia de masa y calor durante el período de velocidad constante

Fuente: Procesos de transporte y principios de procesos de separación. Geankoplis, 2006, página 595.

La velocidad de transferencia convectiva de calor  $q$  en W (J/S o btu/h) desde el gas  $T$  en  $^{\circ}\text{C}$  o  $^{\circ}\text{F}$  a la superficie del sólido a  $T_w$   $^{\circ}\text{C}$ , donde  $(T-T_w)$   $^{\circ}\text{C} = (T-T_w)$  K, es:

Ec.7

$$q = h(T - T_w)A$$

Donde  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor  $W/m^2K$  o  $btu/hr.pie^2.°F$ ; y  $A$  es el área de secado expuesta en  $m^2$  o  $pie^2$ . Y la ecuación del flujo específico del vapor de agua desde la superficie es:

Ec.8

$$N_A = K_y \frac{M_B}{M_A} (H_w - H)$$

La cantidad de calor necesario para vaporizar  $N_A$  mol.kg/s.  $m^2$  o a su vez (mol.lb/hr.  $pie^2$ ) de agua, desechando los pequeños cambios de calor sensible.

$$q = M_A N_A \lambda_w A \quad \text{Ec.9}$$

Donde  $\lambda_w$  es el calor latente a  $T_w$  en  $J/kg$  ( $btu/lbm$ ). Entonces la velocidad de secado  $RC$  es:

Ec.10

$$R_c = \frac{q}{A \lambda_w} = \frac{h(T - T_w)}{\lambda_w} = K_y M_B (H_w - H)$$

(1)

(2)

Es posible calcular la  $RC$  mediante la ecuación de transferencia de calor (1) o la ecuación de transferencia de masa (2), es más confiable la de transferencia de calor.

Ec.11

$$R. KgH_2O / hr. m^2 = \frac{h}{\lambda_w} (T - T^{\circ}C) (3600) (SI)$$

$$R. lb_m H_2O / hr. pie^2 = \frac{h}{\lambda_w} (T - T^{\circ}F) (Inglesa)$$

Para predecir el valor de RC debe conocerse el coeficiente de transferencia de calor. Para el caso de que el aire fluya paralelo a la superficie de secado a una temperatura de aire entre 45 y 150 °C y una velocidad-masa ( $G$ ) entre 2450 – 29300 Kg/hr.  $m^2$  (entre 500 – 600  $lb_m / hr. pie^2$ ) o una velocidad entre 0,61 – 7,6 m/s (2,25 pie/s);  $h$  es igual a:

Ec.12

$$h = 0.0204G^{0.08} (SI)$$

$$h = 0.0128G^{0.8} (Inglesa)$$

Donde en unidades SI,  $G$  es  $v_p$  kg/hr.m<sup>2</sup> y  $h$  está en W/m<sup>2</sup>. K. En unidades inglesas,  $G$  está en  $lb_m/hr.pie^2$  y  $h$  en btu/hr.pie<sup>2</sup> °F.

Cuando el aire fluye perpendicular a la superficie para un valor de  $G$  entre 3900 – 19500 Kg/hr.m<sup>2</sup> o a una velocidad entre 0,9 – 4,6 m/s (entre 3 – 15 pie/s).

Ec.13

$$h = 1.17G^{0.37} (SI)$$

$$h = 0.37G^{0.37} (Inglesa)$$

Para estimar el tiempo de secado durante el período de velocidad constante tenemos la siguiente ecuación:

$$t = \frac{h}{Rc * A} * (X_1 - X_2)$$

### ***2.3.7 Efecto de la velocidad del aire***

Geankoplis (2006), afirma que: Cuando no hay transferencia de calor por conducción y radiación, la velocidad RC de secado en la región de velocidad constante es proporcional a h y, por tanto, a  $G^{0.8}$ . El efecto de la velocidad del gas es menos importante cuando sí hay conducción y radiación.

### ***2.3.8 Transferencia de calor por combinación de convección, radiación y conducción durante el período de velocidad constante***

En una etapa de secado el calor solo se transmite al sólido por el método de convección, desde el aire que está rodeándolo hasta la superficie de secado. Con frecuencia, el secado se lleva a cabo en un gabinete cerrado, en donde las paredes irradian calor al sólido que está secado. Además, en algunos casos, el sólido puede estar depositado en una bandeja metálica, y también existe una transferencia de calor por conducción a través del metal hacia el fondo del lecho sólido. (Geankoplis, 2006)

### 2.3.9 Deducción de la ecuación para convección, conducción y radiación

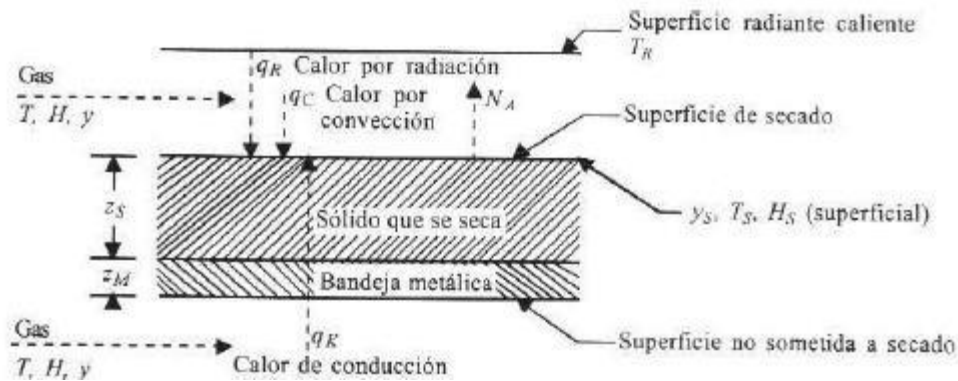


Figura 3. Transferencia de calor y de masa en un sólido en la superficie.

Fuente: Procesos de transporte y principios de procesos de separación. Geankoplis, 2006, página 602.

En la figura 3 se muestra un material sólido, que está secando por medio de una corriente de aire. La velocidad total de transferencia de calor hasta la superficie de secado es:

Ec.14

$$q = q_c + q_R + q_K$$

Dónde:

( $q_c$ ) es la transferencia convectiva de calor desde el gas a  $T$  en  $^{\circ}\text{C}$  hasta la superficie sólida a  $T_s$  en  $^{\circ}\text{C}$  en  $\text{W (J/s)}$ .

( $q_R$ ) es la transferencia radiante de calor desde la superficie a  $T_R$  hasta  $T_s$  en  $\text{W (J/s)}$ .

( $q_K$ ) es la velocidad de transferencia de calor por conducción desde el fondo en  $\text{W}$ .

## 2.3.10 Automatización de procesos y equipos

### 2.3.10.1 Razones para aplicar automatización de procesos y equipos

La automatización de procesos y equipos en la actualidad es catalogada como un campo que enlaza tanto conocimiento como experiencia, de distintas áreas de la ingeniería globalizada, ya sean: electrónica, mecánica, industrial, química, comunicaciones, etc. Esta pauta tiene como finalidad mejorar procesos y optimizar recursos, ya sea que estos brinden productos o servicios, con el afán que no existan errores dentro de los mismos. La automatización de procesos y equipos tiene como principal razón el control, se puede derivar algunos como:

- Maniobrar el proceso de una manera segura y confiable.
- Optimizar el proceso para buscar cumplir los parámetros de calidad.
- Evitar estancamientos en el proceso (cuellos de botella).
- Optimizar el consumo de energía y recursos.

### 2.3.10.2 Niveles de automatización

En las industrias se prestan los siguientes paralelismos de automatización:

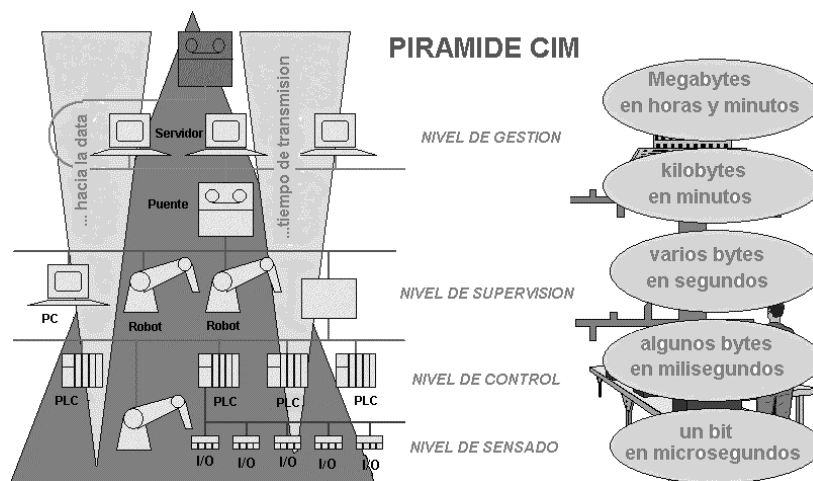


Figura 4. Paralelismos de automatización.

*Fuente: Automatización (Gonzales, 2010, p.18)*

#### *2.3.10.2.1 Nivel de Sensado*

Gonzales (2010), manifiesta que: en este nivel se habla de la instrumentación, conociendo los elementos a utilizar para recolectar la información, considerando a los sensores como elementos de medición, y a los actuadores como los elementos de control.

#### *2.3.10.2.2 Nivel de control*

En este nivel relacionamos a los actuadores y sensores para generar una gestión o acopio de datos. (Gonzales, 2010)

#### *2.3.10.2.3 Nivel de supervisión*

Según Gonzales (2010), en este nivel se examinan a todos los mecanismos de control mancomunados existentes en una planta.

#### *2.3.10.2.4 Nivel de gestión*

En este nivel nos topamos con computadoras que nos ofrecen datos para recopilar y atañer la información que involucra a la producción y a toda gestión vinculada, ya sea cantidades de producción, de materias primas, de tiempos de procesos, etc. (Gonzales, 2010)

### ***2.3.11 Elementos para controlar y monitorear el secador***

#### *2.3.11.1 Motor trifásico*

Según (MOTOREX 2020), manifiesta que: los motores trifásicos son máquinas eléctricas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica mediante interacciones electromagnéticas. Están diseñados para funcionar con la potencia de



corriente alterna trifásica manejada en muchas aplicaciones industriales. Un motor trifásico tiene dos partes principales:

- El rotor, que gira, es a menudo denominado jaula de ardilla porque consiste en una red circular de barras y anillos que se parecen un poco a una jaula conectada a un eje.
- El estator, que lo hace girar, consiste en un anillo con tres pares de bobinas, espaciadas uniformemente alrededor del rotor.

### *2.3.11.2 Variador de frecuencia*

Los variadores o convertidores de frecuencia son sistemas que se encuentran entre la fuente de alimentación eléctrica de los motores eléctricos. Sirven para regular la velocidad de giro de los motores de corriente alterna (AC). (S&P. 2020)

Para (S&P. 2020), en un variador de frecuencia la energía de la red pasa por el variador y regula la energía antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento.

### *2.3.11.3 Visor de Voltaje*

Según el sitio web Definicion.com (2016), se llama voltímetro al dispositivo que permite realizar la medición de la diferencia de potencial o tensión que existe entre dos puntos pertenecientes a un circuito eléctrico. El voltímetro, por lo tanto, revela el voltaje (la cantidad de voltios).

#### 2.3.11.4 Visor de amperaje

R., J. (2021), afirma que: el amperímetro es un instrumento de medición compuesto por un galvanómetro y una serie de resistencias conectadas en paralelo, y lo que mide es la corriente eléctrica que pasa por un circuito. La medición del amperímetro se indica como Amperes (A).

#### 2.3.11.5 PLC

Básicamente es el cerebro de la maquina es conocido como control lógico programable, es un elemento que ha comenzado a tener gran aprobación para el control de procesos industriales, al ser un dispositivo que procesa datos como temperatura, tiempo, vibraciones, ruido. (R., J. 2021)

### 2.4 Glosario De Términos Básicos

*Humedad:* “La humedad (H) cuando existe una mezcla vapor de agua-aire se precisa como la cantidad de kilogramos de vapor de agua por cada kilogramo de aire seco” (Geankoplis,2006).

*Secado:* “El secado es la eliminación de la humedad (ya sea agua u otros compuestos volátiles) de sólidos, soluciones, lodos y pastas para obtener productos sólidos” (Seader. 2011).

*Calor:* “Es un tipo de energía que se produce por la vibración de moléculas, y esto provoca la subida de las temperaturas, dilatación de cuerpos, la fundición de sólidos y la evaporación de líquido” (Definicion.com. 2016).

*Temperatura:* “Magnitud física que indica la intensidad de calor o frío de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente, el cual es medido por un termómetro” (Definicion.com. 2016).

*HMI:* Interfaz Hombre Máquina; conjunto de dispositivos que van a permitir una comunicación óptima entre el operario y la máquina o conjunto de máquinas. (Definicion.com. 2016).

## **CAPÍTULO III. METODOLOGIA.**

### **3.1 Diseño De Investigación**

Dado que el objetivo será implementar un sistema de control y monitoreo para el proceso de secado en el deshidratador del laboratorio de operaciones unitarias de ingeniería industrial se recurrirá a un diseño experimental porque los estudios se los realiza alterando las variables, es decir, se cambiará las condiciones o circunstancias de cualquiera de los elementos de estudio, para poder mejorar su rendimiento y luego analizarlos.

Para el autor Velázquez (2020), la investigación experimental es cualquier investigación realizada con un enfoque científico, donde un conjunto de variables se mantiene constantes, mientras que el otro conjunto de variables se mide como sujeto del experimento.

### **3.2 Tipo De Investigación**

La investigación será de tipo descriptiva ya que el problema es poco conocido, y va dirigido al área de controles industriales y operaciones unitarias de manera combinada, “la investigación descriptiva se encarga de puntualizar las características de

la población que está estudiando”. (Velázquez, 2020) y experimental porque lo estudios se los realiza deliberando las variables, es decir, se cambiará las condiciones o circunstancias de cualquiera de los elementos de estudio.

### **3.3 Técnicas De Recolección De Datos**

Las técnicas a utilizar son:

- Observaciones de las posibles variables que afecten al funcionamiento del deshidratador y así tener un análisis de datos.
- Ensayos antes y después de la automatización del deshidratador del laboratorio de operaciones unitarias de la carrera de ingeniería industrial.

Según Hernández (2014) “este método de recolección de datos consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables, a través de un conjunto de categorías y subcategorías” (p. 252)

### **3.4 Población De Estudio y Tamaño De Muestra.**

En el presente estudio la población empleada será el deshidratador de bandejas del laboratorio de operaciones unitarias de Ingeniería Industrial y la muestra será el número de ensayos a aplicar que en este caso serán 2, uno previo a la automatización y uno después de la misma.

### **3.5 Métodos de análisis y procesamiento de datos.**

Es necesario primeramente determinar el estado actual del proceso de deshidratación, para ello se realiza un ensayo en el cual se toman los datos de temperatura, velocidad del aire, peso (cada 30 minutos), pérdida de humedad y

principalmente el tiempo para así obtener la curva del secado y saber con certeza que el proceso finalizó.

El deshidratador cuenta con un ventilador accionado por un motor monofásico a velocidad constante y también con un control de temperatura-tiempo. El motor que impulsa el ventilador para la generación de flujo de aire no cuenta con un control de velocidad y no es apto para ello considerándose una variable inutilizable.

Después de haber determinado el estado actual del deshidratador se proponen ideas para optimizar su rendimiento tales como: el cambio del motor monofásico a trifásico para que este sea apto para variar la velocidad del ventilador, la colocación de un variador de frecuencia para regular el flujo de aire y realizar los ensayos correspondientes para comprobar la mejora del proceso y su extracción de datos.

### 3.5.0 Parámetros técnicos del deshidratador

#### 3.5.0.1 Motor Original

Tabla 1.  
*Parámetros técnicos del motor original*

PARÁMETROS	
MARCA	S&P
RPM	1550 rpm
Vo	870 m <sup>3</sup> /h=0.242m <sup>3</sup> /s
VOLTAJE	127 v
FRECUENCIA	60 Hz
POTENCIA	1/40 HP
MODELO	5HXM-250

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.0.2 Selección del motor

En base a los datos obtenidos del motor original del deshidratador se determina que no es apto para el control de un variador de frecuencia.

Tabla 2.  
*Parámetros técnicos del motor seleccionado*

PARÁMETROS	
VOLTAJE	220 v (trifásico)
RPM	3650 rpm
FRECUENCIA	60 Hz
CORRIENTE	0.66 A
POTENCIA	1/4 HP
COEFICIENTE DE POTENCIA	0.92

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.0.3 Selección del variador de frecuencia

Se seleccionará el variador de frecuencia en base a los datos de placa del motor seleccionado.

Tabla 3.  
*Parámetros técnicos del variador de frecuencia seleccionado*

PARÁMETROS	
MARCA	LS
MODELO	SVO15iG5A-2
VOLTAJE DE ENTRADA	200-230 v
CORRIENTE DE ENTRADA	9.9 A
FRECUENCIA DE ENTRADA	50/60 Hz

VOLTAJE DE SALIDA	0-230 v
CORRIENTE DE SALIDA	8.0 A
POTENCIA	3HP
FRECUENCIA DE SALIDA	0.1-400 Hz

---

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.5.0.4 Materiales

Los materiales a emplear para la automatización son:

Tabla 4.  
*Materiales empleados*

MATERIAL	FUNCIÓN
UNIDAD DE AMPLIACION LOGO 8 AM 2AQ 2SALIDAD ANALOGICAS 6ED1055-1MM00-OBA2	Generar salidas de voltaje analógico para controlar la frecuencia del variador.
VOLTIMETRO	Medir el voltaje
AMPERIMETRO	Medir amperaje
CABLES #14	Para conectar el motor al variador de frecuencia y este a su vez con el LOGO
MODEM	Para poder descargar los datos generados en el LOGO.

---

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.5.0.5 Reemplazo del motor

Primero se desmontó el motor, para ello fue necesario abrir la estructura de la parte trasera del deshidratador como se muestra en la figura 5.



*Figura 5. Desmontaje del motor*

*Fuente: Elaboración propia.*

Seguido de esto se procedió a colocar el nuevo motor en la estructura previamente adaptada.



*Figura 6. Base del motor*

*Fuente: Elaboración propia.*

Como paso siguiente se colocó el motor y la base en el deshidratador para montar de nuevo el mismo y hacer las conexiones correspondientes.





*Figura 7. Montaje del motor*

*Fuente: Elaboración propia.*

Finalmente se realizaron las instalaciones de alimentación y control de velocidad del motor para sus posteriores conexiones con los demás equipos.



*Figura 8. Instalaciones del motor*

*Fuente: Elaboración propia.*

### *3.5.0.6 Conexiones*

Inicialmente, se revisaron las conexiones que ya estaban en el tablero de control que se muestran a continuación en la figura 9:

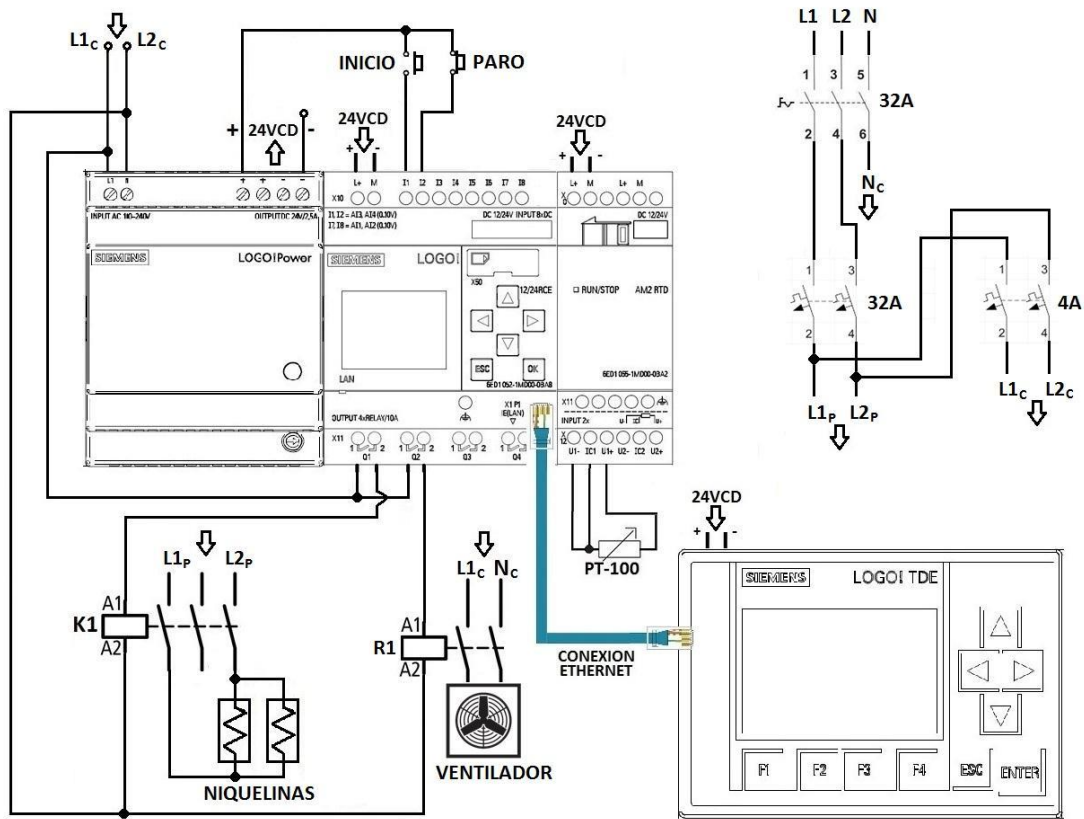


Figura 9. Diagrama eléctrico del secador.

Fuente: Loza Zambrano Diego Andrés.

Se ha realizado un nuevo diagrama eléctrico, considerando los nuevos elementos del sistema de control asociados al deshidratador.

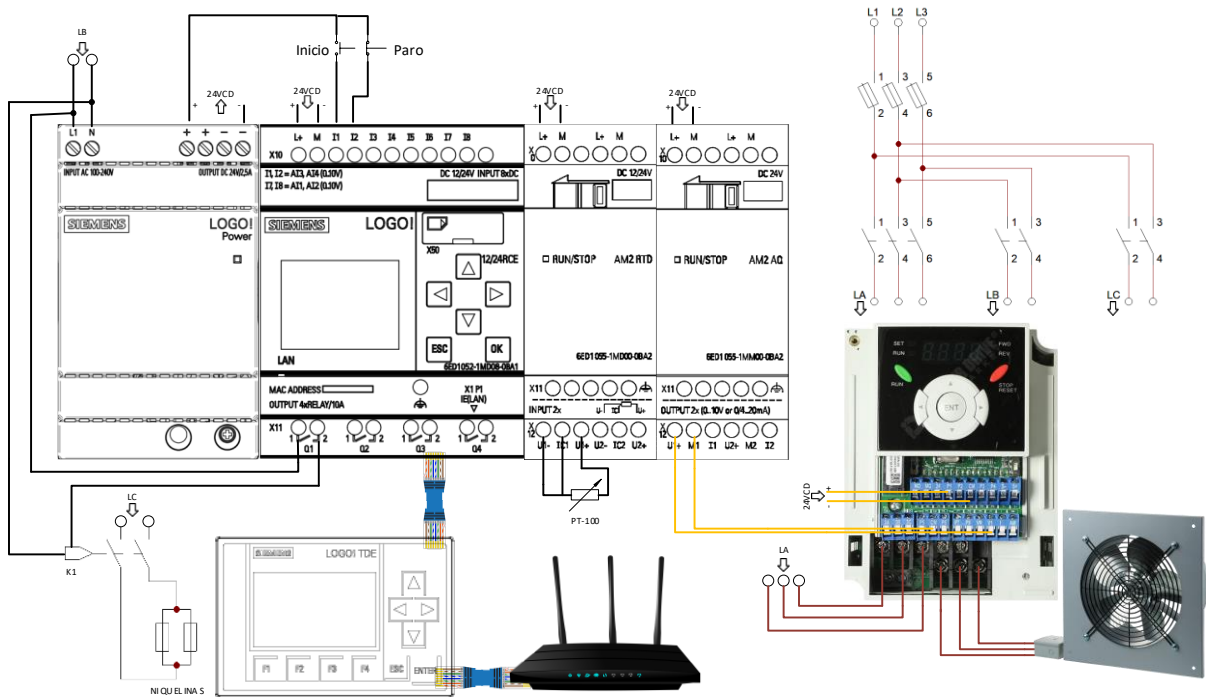


Figura 10. Diagrama eléctrico actualizado

Fuente: Elaboración propia.

En base al diagrama planteado en la figura 10, se añadió el módulo de entradas y salidas al LOGO8, este será utilizado para enviar una señal analógica al variador de frecuencia, previamente acoplado al tablero de control que a su vez permitirá el control y manejo de la velocidad del ventilador del motor que influye directamente con el flujo de aire del deshidratador. A continuación, se realizaron las conexiones eléctricas empleando cable número 14 del módulo de entradas y salidas al variador de frecuencia y del variador de frecuencia al motor.

Para la instalación del variador de frecuencia se conecta una fuente de alimentación trifásica de 220 v, se vinculan las salidas analógicas de LOGO8 programado para una salida de 60 Hz el variador fue programado con los datos de placa del motor que muestran en la tabla 2 para finalmente conectarse con el motor. Como

último paso se instaló medidores de voltaje y corriente para monitorear el consumo eléctrico y la estabilidad del deshidratador y finalmente se colocó el rúter que permitirá la descarga y monitoreo de los datos.

### 3.5.0.7 Programación del control de velocidad del motor

Inicialmente se descargó la programación con la que ya contaba el logo para su control para ello se empleó el software LOGO!SoftComfort V8.3 y el modem con las características que detallo a continuación:

Tabla 5.  
*Características de rúter*

CARACTERIRITICAS	
MARCA	ENGKAND electronics
MODELO	AC-307R
SSID	WIFI_5ff974
IPv4 address	192.168.0.25

Fuente: Elaboración Propia

Descarga de la programación anterior del LOGO.

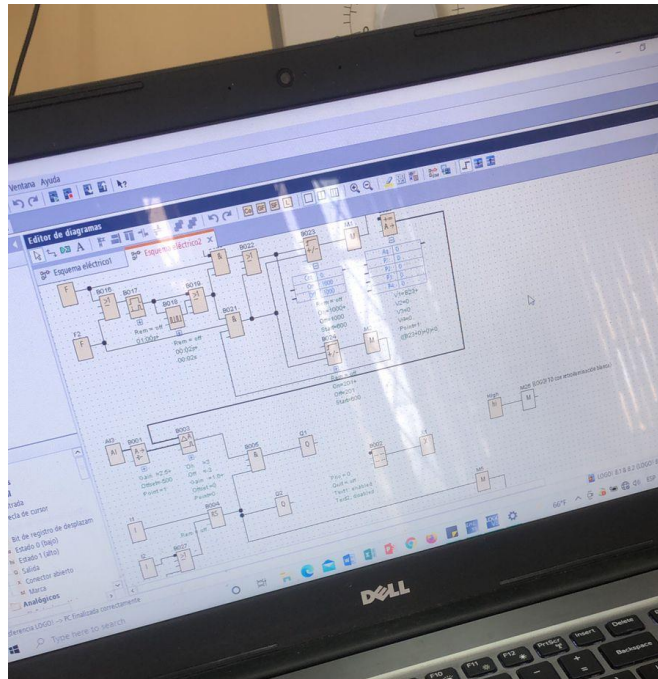


Figura 11. Descarga de la programación del LOGO

Fuente: Elaboración Propia

Una vez descargada la programación anterior se le añadieron los bloques que se muestran en las figuras 11, 12 y 13.



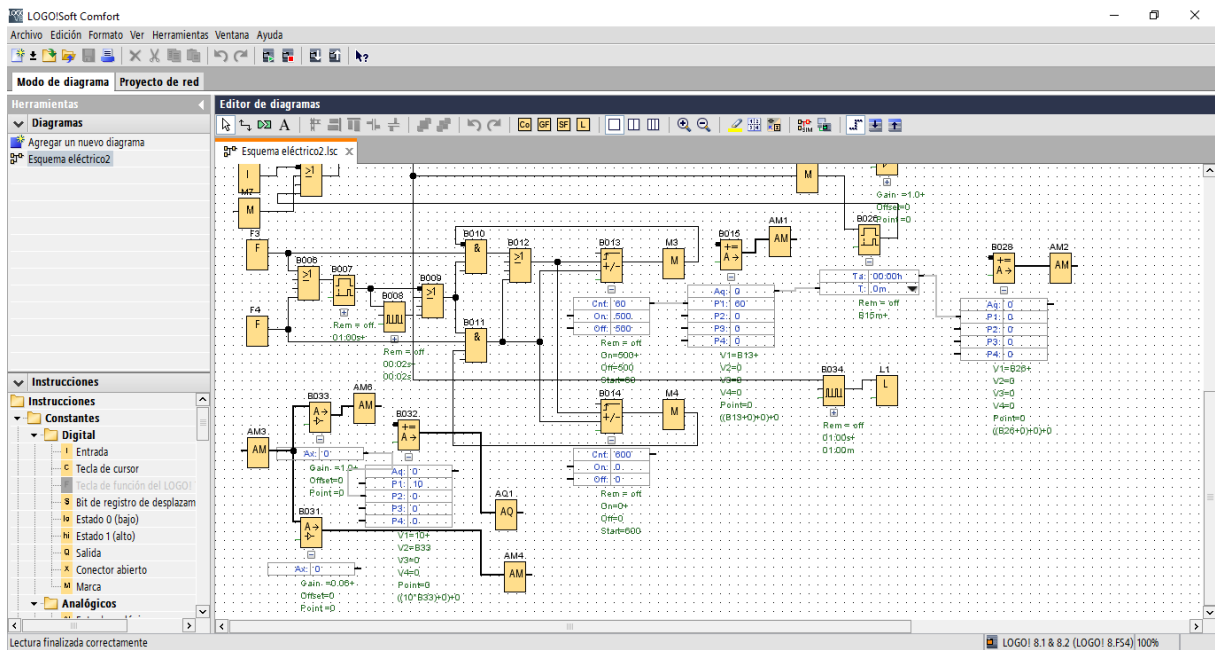
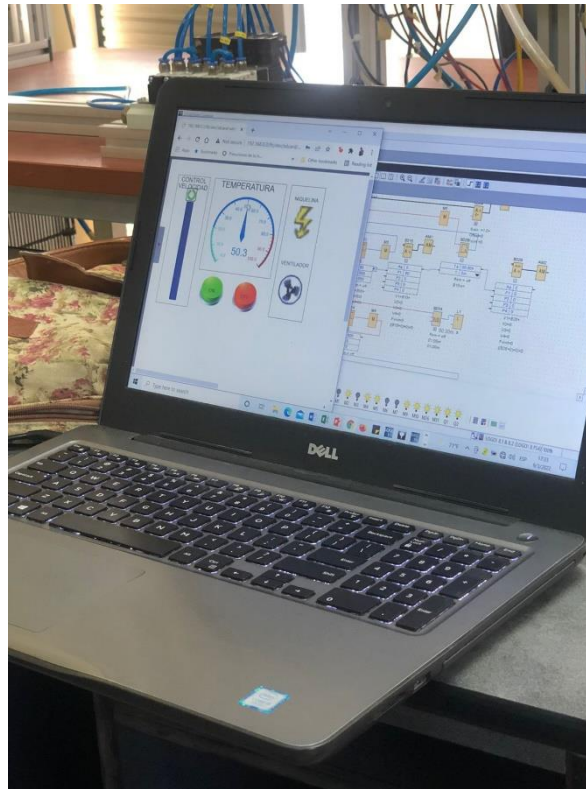


Figura 14. Programación para el control de velocidad

Fuente: Elaboración Propia

Seguido de esto se diseñó la interfaz para poder controlar la variación de velocidad desde cualquier computador, se empleó el software LWE V1 como se muestra a continuación en la figura 15.



*Figura 15. Diseño de la interfaz*

*Fuente: Elaboración Propia*

Finalmente se realizaron las pruebas correspondientes para determinar que la programación funcione correctamente, para ello se siguieron los pasos que se describen en los temas siguientes.

#### *3.5.0.7.1 Pasos para el uso del control de velocidad y generación de reportes*

Para poder realizar el control de velocidad del variador de frecuencia y descargar los datos generados por el deshidratador en un reporte se deben seguir los pasos que se detallan a continuación:

- Suministrar energía eléctrica para encender el deshidratados de bandejas.
- Conectarse al rúter desde el dispositivo que se vaya a emplear en la práctica, preferentemente un computador.



- Datos de ingreso del rúter.

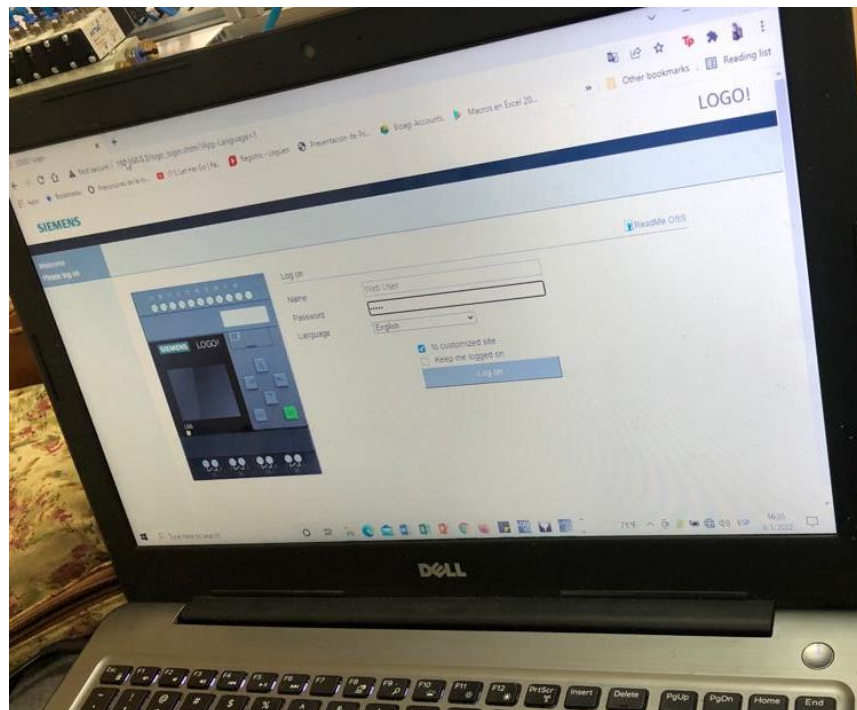
Nombre: WIFI\_5ff974 2

Clave: capo1224

- Ingresar desde el navegador a la dirección IP del LOGO como se muestra en la figura 16.

IP: 192.168.0.3

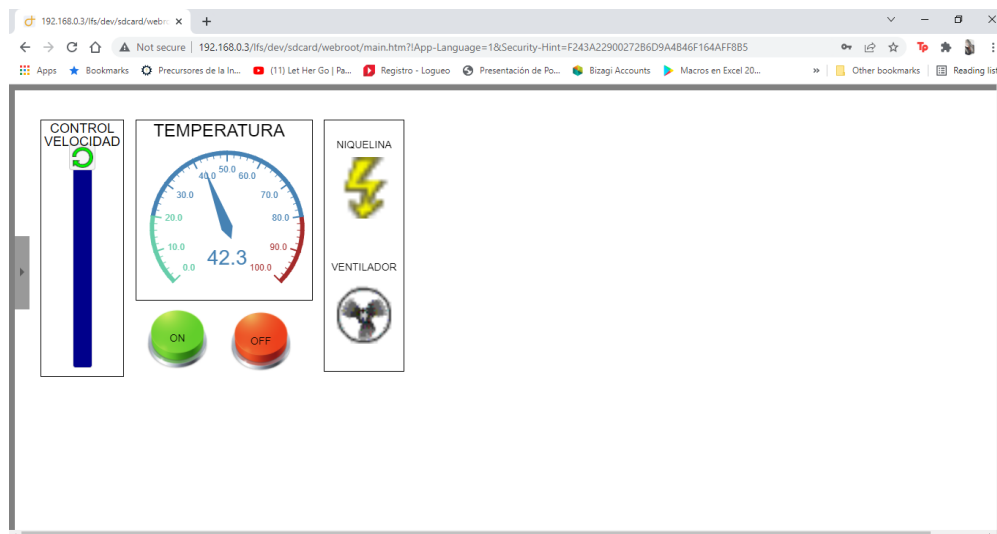
Clave: LOGO8



*Figura 16. Servidor Web*

*Fuente: Elaboración Propia*

- Una vez que ingresa deberá aparecerle lo siguiente:

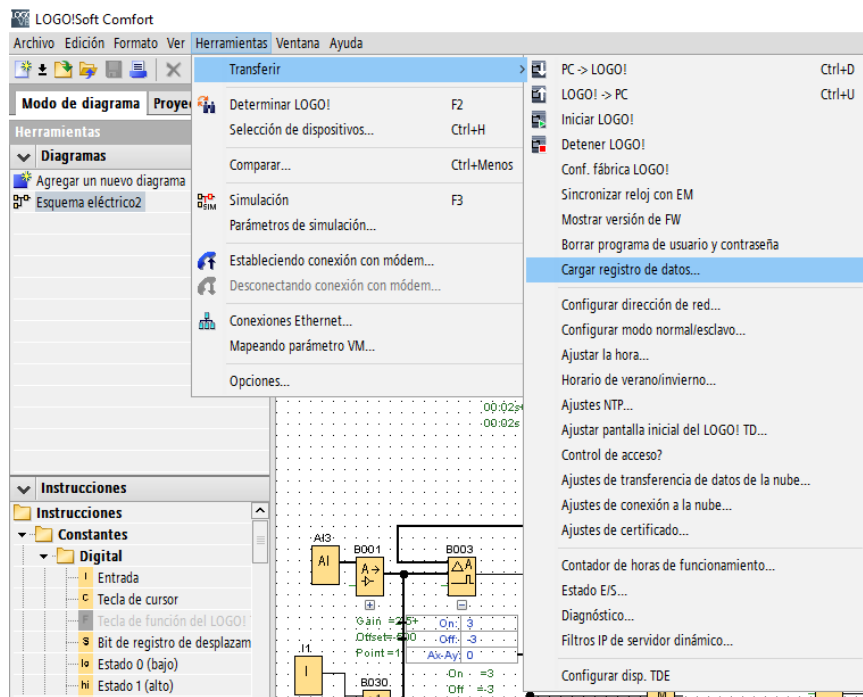


*Figura 17. Pantalla de control*

*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 17 se observa el control de velocidad en la parte izquierda que va en un rango de 1% hasta 100% para la velocidad de giro del motor, también en el centro se encuentra un medidor de temperatura en tiempo real y los botones de encendido y apagados generales para el deshidratador, finalmente en la parte derecha se observa una representación gráfica de las niquelinas y el ventilador.

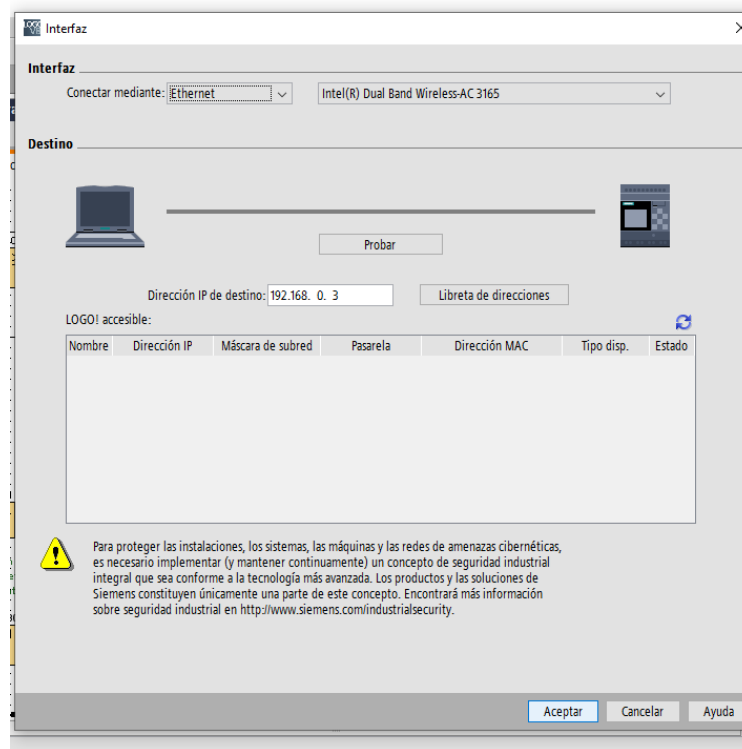
- Ingrese los datos de temperatura y tiempo de proceso en la pantalla del tablero de control del deshidratador, regule la velocidad deseada para el variador de frecuencia en el computador, una vez realizado esto presione el botón de inicio (ON).
- Una vez terminada la practica ingresar al software LOGO!SoftComfort V8.3 y hacer clic en la barra de herramientas opción transferir/cargar registro de datos como se muestra en la figura 18:



*Figura 18. Descarga de datos*

*Fuente: Elaboración Propia*

- Una vez seleccionada la opción de carga de registro de datos aparecerá la siguiente ventana, se debe dar clic en aceptar como se muestra en la figura 19.



*Figura 19. Ventana de conexión al LOGO*

*Fuente: Elaboración Propia*

- Seguido de ello aparecerá la opción de parar el LOGO y cargar la transferencia de datos desde la IP a la tarjeta de memoria de igual manera dar clic en aceptar, cambiar el nombre del archivo y dar clic en aceptar.
- Localizar el archivo, frecuentemente se encuentra en la carpeta de documentos y abrirlo, le aparecerá lo que se encuentra en la figura 20.

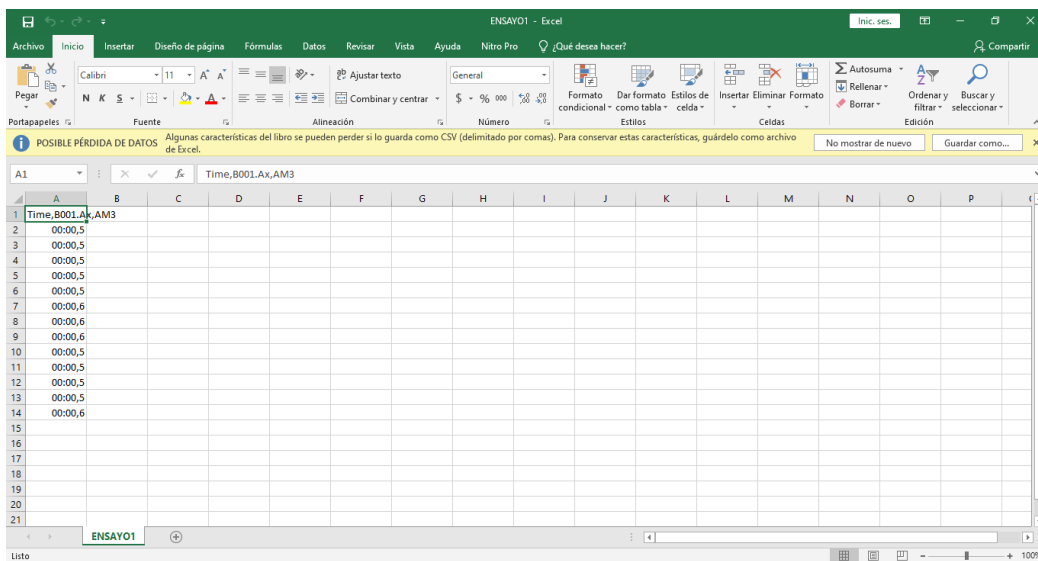


Figura 20. Datos descargados

Fuente: Elaboración Propia

- Como se observó anteriormente los datos aparecen juntos para obtenerlos correctamente se debe hacer clic en la opción datos de la barra de herramientas y seleccionar la opción: Desde el texto/CSV como se muestra en la figura 21.

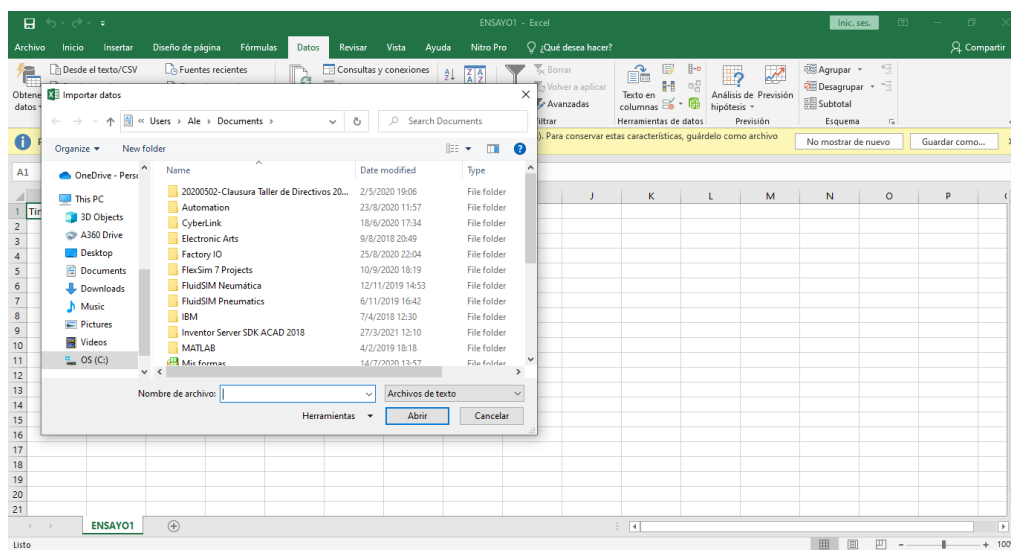


Figura 21. Carga de datos

Fuente: Elaboración Propia

- Seleccionar el mismo documento que se descargó e importarlo, como se muestra en la figura 22.

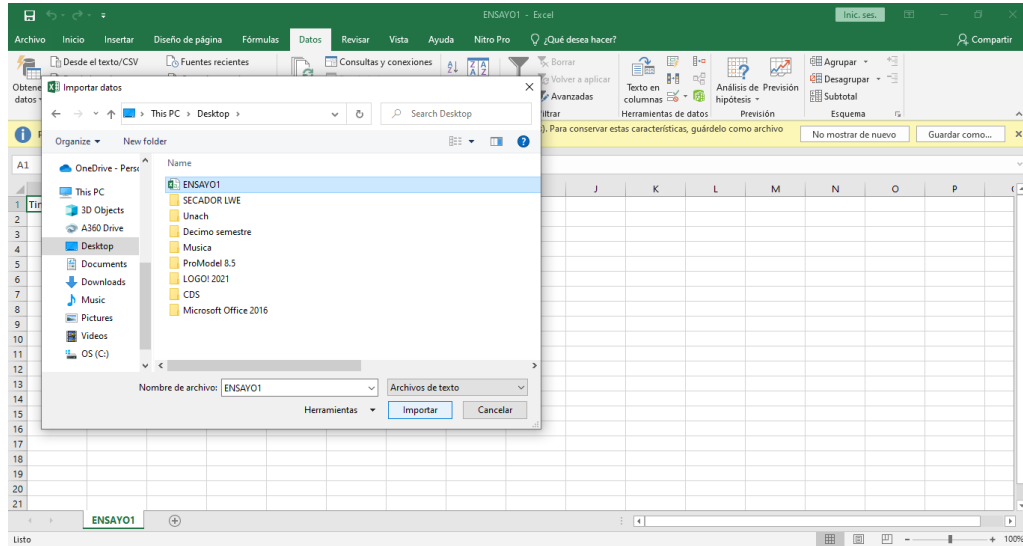


Figura 22. Importar datos

Fuente: Elaboración Propia

- Una vez que los datos fueron importados aparecerán de la siguiente manera, como lo muestra la figura 23.

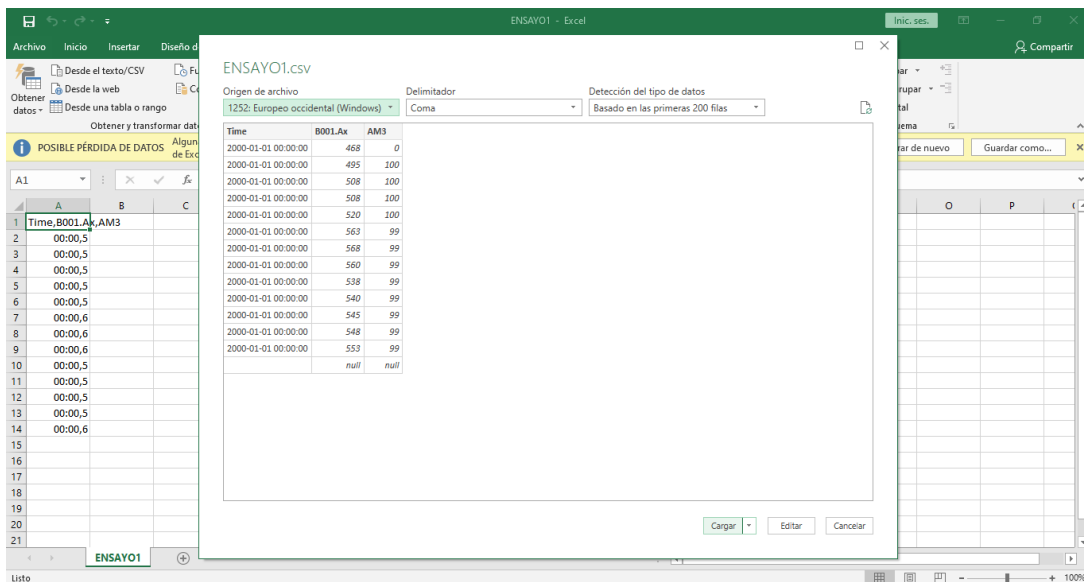


Figura 23. Carga de datos

Fuente: Elaboración Propia

- Finalmente, al cargar los datos al Excel se obtienen los mimos de la temperatura y de la velocidad del variador de frecuencia en función del tiempo que duro la práctica, cabe mencionar que los datos se toman cada minuto con ello se puede obtener una gráfica para comprobar las variaciones de temperatura que puedan influir en el proceso, como lo muestra la figura 24.

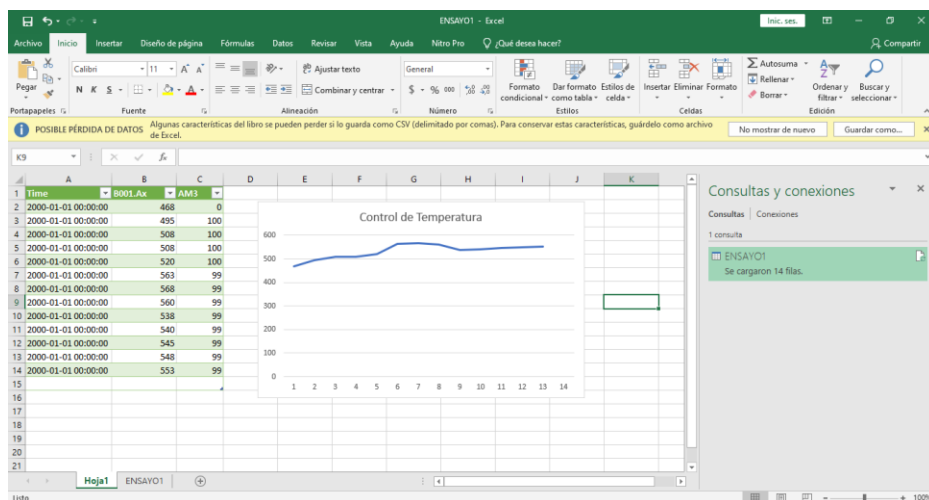


Figura 24. Datos finales del ensayo

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.0.8 Configuración del control de peso

#### 3.5.0.8.1 Chequeo y mantenimiento de la Balanza Actual

En este caso el equipo ya contaba con una balanza y una celda de carga previamente colocadas con la siguiente descripción:

Tabla 6.

Parámetros técnicos de la balanza actual

CARACTERISTICAS	
MODELO	120

SN	004747
VOLTAJE	9VDC
AMPERIOS	330 Ma

---

Fuente: Elaboración Propia



Cabe mencionar que la balanza se encontraba descompuesta lo que imposibilitaba su uso durante el proceso de secado por ello se retiró la misma y se envió a reparar, luego se colocó en la máquina y se realizaron las respectivas pruebas para comprobar su funcionamiento. A continuación, se detalla el informe de revisión de la balanza:



Latacunga, 2 de marzo del 2022

Señorita:  
 Alejandra Elizabeth Piedra Jara  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 DIRECCIÓN: Babamba - Ecuador  
 TLF: 0997639431  
 Presente. -

INFORME DE CALIBRACIÓN Y AJUSTE DE EQUIPO  
 INF-2022-03-02

Item	Cant	Descripción	Observación
1	1	<p>RICE LAKE 120            Digital Weight Indicator</p>  	<p>Se revisa el estado actual de la máquina encontrando:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incorrecta conexión de terminales.</li> <li>• Frágil reconocimiento de los pulsadores del teclado matricial.</li> <li>• Ruido magnético entre la parte de control y chasis del equipo.</li> </ul> <p>Procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio y reparación de terminales</li> <li>• Limpieza y reforzamiento de pistas de cobre en teclado matricial.</li> <li>• Redistribución uniforme de cables para impedimento de ruido magnético.</li> </ul> <p>Se recomienda realizar un mantenimiento continuo para mejorar el rendimiento del equipo.</p>

Aterramiento,



Ing. Anderson Vázquez  
avvazquez@ieee.org  
Tl: Cel: 0984068428

Latacunga: Euclides Salazar 154 y Av Roosevelt  
Servicio Técnico: 0987871643

Email: avvazquez@ieee.org

Tl: 032810982 / 0984068428

*Figura 25. Informe técnico de la balanza*

*Fuente: Maldonado y Vázquez Ingeniería*

### 3.5.0.8.2 Adaptación de la balanza al deshidratador

Después de que la balanza fue revisada y reacondicionada a los parámetros que se necesitan se la volvió a colocar en el deshidratador. Luego de colocarla correctamente se la encendió y encero con la bandeja dentro para así comprobar que se mida solo el peso del producto durante las practicas que se realicen en el mismo como se muestra en la figura 26.



Figura 26. Balanza encerada

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.0.9 Presupuesto

Tabla 7.  
Presupuesto

RECURSOS	CANTIDAD / TIEMPO	COSTO TOTAL
READECUACIONES	1 mes	\$ 100

CABLE # 14	20 m	\$ 20
VARIADOR DE FRECUENCIA	1	\$ 500
MOTOR TRIFÁSICO / REBOBINADO	1	\$ 300
PROGRAMACIÓN	4 meses	\$ 700
MEDIDOR DE VOLTAJE	1	\$ 8
MEDIDOR AMPERAJE	1	\$ 12
MODULO DE ENTRADAS Y SALIDAS LOGO8	1	\$ 152
MODEM	1	\$ 22.50
CALIBRACION DE LA BALANZA	1	\$ 50
TARJETA MICRO SD 8GB	1	\$ 5
TOTAL		\$1 762.50

---

Fuente: Elaboración Propia

### **3.5.1 Comprobación de la mejora en la precisión de los datos**

#### *3.5.1.1 Obtención de datos de deshidratado para el producto*

##### *3.5.1.1.1 Materiales*

Se realizó el ensayo con el producto generalmente utilizado en las prácticas de laboratorio de operaciones unitarias (manzanas). Para realizar el ensayo se emplearon los siguientes materiales:

- Bandeja normal de longitud (31 x 28.7) cm
- Bandeja con agujeros de longitud (28 x 32) cm
- Cuchillo
- Cronometro
- Manzanas rojas.

#### 3.5.1.1.2 *Máquinas y Equipos*

- Deshidratador
- Medidor de estrés térmico
- Anemómetro
- Balanza digital
- Flexómetro

#### 3.5.1.1.3 *Proceso*

- Colocar el medidor de estrés térmico a la salida del deshidratador 30 minutos antes de iniciar con la práctica.
- Cortar la manzana en tajadas finas
- Pesar cada una de las bandejas vacías
- Colocar las rodajas en cada bandeja
- Pesar la bandeja con el producto
- Encender el secador y colocar las bandejas
- Medir la velocidad del aire a la salida del túnel del deshidratador
- Sacar el producto y pesarlo cada 30 minutos hasta obtener un peso constante o con una variación de 1 a 3 gramos.

Un grupo de investigación en el año 2005, avalado por la UNESCO, desarrolló un manual para deshidratado de frutas, legumbres, hortalizas, carnes y plantas medicinales; el cual indica las condiciones de temperatura bajo las cuales se recomienda secar los diferentes productos. (Almada, Cáceres, Machaín-Singer, & Pulfer, 2005)

Tabla 8.  
*Porcentajes de humedad inicial y temperaturas máximas permisibles*

PRODUCTO	TEMPERATURA MAXIMA
	PERMISIBLE (°C)
MANZANA	50
PAPA	55
ZANAHORIA	60

Fuente: Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes.

Almada et al. Paraguay 2005 (pag.27)

### 3.6 Hipótesis

La automatización del sistema de control del deshidratador optimizará los tiempos del proceso de secado.

### 3.6.0 Operacionalización de Variables

Tabla 9.

*Operacionalización de las variables*

VARIABLES	CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTO
<p><b>Variable Independiente:</b> Diseño y programación de un sistema de control y monitoreo.</p>	<p>El diseño y programación de un sistema de control y monitoreo es prioridad para el deshidratador del laboratorio de operaciones unitarias para acrecentar el rendimiento del mismo y su control de una manera más óptima y segura.</p>	Diseño	<p>-Cambio de motor -Sistema de arranque directo para el variador de frecuencia. -Re adecuación del sistema eléctrico para las mejoras. -Visor de nieves de voltaje y amperaje.</p>	<p>- Observación - Ficha de instalaciones y cambios</p>	<p>-Variador de frecuencia. -Motor trifásico. -Visor de amperaje y voltaje.</p>
<p><b>Variable Dependiente:</b> Optimización de tiempos del proceso.</p>	<p>La optimización de tiempo del proceso se puede aprovechar de muchas maneras al momento de una práctica permite obtener los datos de una manera más notable.</p>	Extracción de datos	<p>- Visualización de datos. -Programación.</p>	<p>- Observación - Documentación</p>	<p>-Toma de tiempos -Reporte.</p>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.7 Línea base

Los parámetros de temperatura y tiempo del proceso de deshidratado se encuentran bajo control:

- La temperatura no sufre incremento ni variaciones, lo cual permite el control del proceso de secado acorde a las necesidades de cada usuario y de cada producto.
- El tiempo de trabajo del deshidratador es monitoreado a través de la LOGO TD, y es configurable acorde a cada condición del usuario.
- No existe control sobre el caudal de aire, haciendo que el proceso sea lento.
- Los datos que entrega el LOGO TD en cada proceso no se pueden visualizar de ninguna manera.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de las condiciones actuales del deshidratador mediante pruebas de laboratorio.

*Tabla 10.*

*Condiciones anteriores vs. actuales del deshidratador*

ELEMENTO	ANTERIOR	ACTUAL
MOTOR	Monofásico	Trifásico, 0.25 HP 3650 rpm Ls- SV015Ig5A-2
VARIADOR	No disponía del equipo	Trifásico de 3 Hp
MODEM	No disponía del equipo	ENKAND electronics- AC-307R





Pasadas 5.5 horas el peso del producto se mantuvo en 29 g con una variación de 1 y 2 gramos por lo cual se concluye que el proceso de pérdida de humedad termino.

#### 4.1.1.1 *Calculo de la humedad*

Tabla 12.  
*Calculo de perdida de humedad*

TIEMPO (h)	PESO (g)	$X_t = \frac{W - W_S}{W_S}$	PERDIDA DE HUMEDAD (%)
0.5	165	0.139	13.9 %
1	146	0.130	13 %
1.5	125	0.168	16.8 %
2	108	0.157	15.7 %
2.5	91	0.186	18.6 %
3	79	0.152	15.2 %
3.5	68	0.162	16.2 %
4	57	0.193	19.3 %
4.5	47	0.213	21.3 %
5	38	0.237	23.7 %
5.5	29	0.310	31 %

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.1.2 *Velocidad de secado*

- Densidad:

La densidad se obtiene con la temperatura de bulbo húmedo (19.4 °C) y la presión de 101.2 KPa, a través de tablas de las Propiedades Físicas del Aire. Para esto

se debe interpolar los valores encontrados en la tabla y posteriormente realizar una regla de tres para obtener la densidad correcta.

Tabla 13.  
*Interpolación*

INTERPOLACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE	
$X_0 = 10\text{ °C}$	$Y_0 = 1,038\text{ Kg/ m}^3$
$X = 19.4\text{ °C}$	$Y =$
$X_1 = 37.8\text{ °C}$	$Y_1 = 1,043\text{ Kg/ m}^3$

Fuente: Elaboración Propia

Se emplea la siguiente ecuación:

Ec.15

$$Y = Y_0 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} (X - X_0)$$

Teniendo así un valor de:  $Y = 1.040\text{ Kg / m}^3$

Ahora se efectúa una regla de tres para determinar la densidad del aire a la presión de Riobamba la cual es de 101.2KPa, entonces:

1 atm = 101.325 KPa

**101. 325 KPa → 1. 040 Kg/ m3**

**101. 2 KPa g → X**

**X = 1.039 Kg / m3**

#### 4.1.1.2.1 Cálculo de Velocidad de masa (G)

$$G = v * p$$

$$G = 2.05 \frac{m}{s} * 1.039 \frac{Kg}{m^3} * \frac{3600s}{1h}$$

$$G = 7667.82 \frac{Kg}{h * m^2}$$

#### 4.1.1.2.2 Determinar el Coeficiente de Convección

La ecuación a emplear es para flujo de aire paralelo:

$$h = 0.0204 * G^{0.8}$$

$$h = 0.0204 * 7667.82^{0.8}$$

$$h = 26.14 \frac{W}{m^2K}$$

#### 4.1.1.2.3 Determinar la Velocidad de Secado

$$\lambda_w = 2454.97 \frac{KJ}{kg}$$

Dato obtenido mediante la aplicación Toolbox ingresando la temperatura de bulbo húmedo.



Figura 27. Datos en Toolbox

Fuente: Toolbox

Despeje:

$$R_c = \frac{h(T - T_w)}{\lambda_w}$$

$$R_c = \frac{26.14 \frac{J/s}{m^2 * K} (42.3 - 19.4)K}{2454.97 \frac{Kj}{Kg} * \frac{1000}{1 Kj}}$$

$$R_c = 2.44 * 10^{-4} \frac{Kg}{m^2 * s} * \frac{3600s}{1h} = 0.878 \frac{Kg H_2O}{m^2 * h}$$

#### 4.1.1.3 Tiempo de secado

$$t = \frac{L_s (X_1 - X_2)}{A * R_c}$$

$$t = \frac{0.188 Kg (0.84 - 3.1 * 10^{-4}) \frac{Kg H_2O}{Kg solido seco}}{0.08897 m^2 * 0.878 \frac{Kg H_2O}{m^2 * h}}$$

$$t = 2.32 h$$

El tiempo teórico del proceso es de 2.32 h, pero en la práctica se demora más (5,5 h) porque el deshidratador tiene perdida de calor al abrir y retirar la bandeja cada 30 minutos para tomar las mediciones, además la temperatura se pierde mientras el aire fluye por el conducto hasta llegar al producto ya que con el medidor de estrés térmico se demuestra que solo llegan 42.3 °C de los 50°C que deberían llegar.

#### 4.1.1.4 Curva de secado

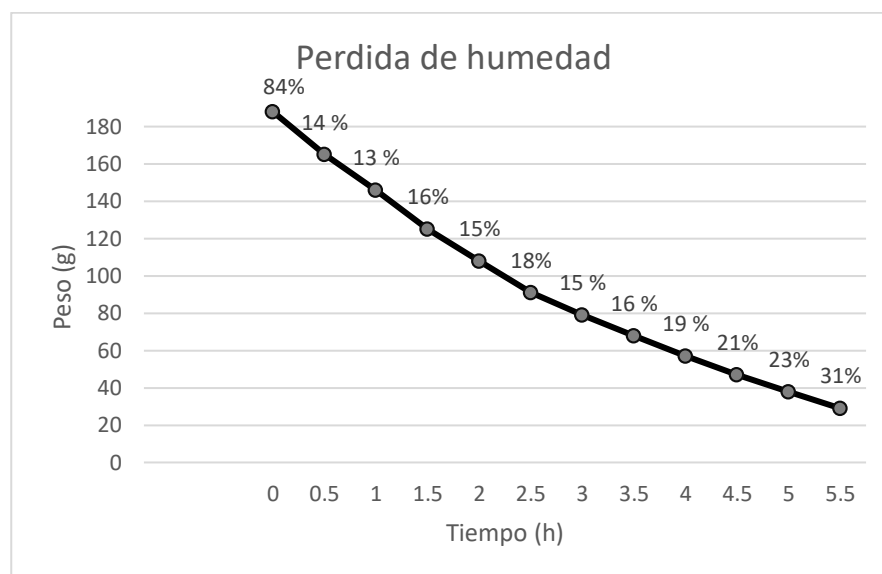


Figura 28. Curva de secado, bandeja sin agujeros

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se puede observar la relación de la pérdida de peso y por ende de humedad en base al tiempo que es durante un periodo de 5.5 horas hasta que el producto llega a un peso constante (29 g) que demuestra que no puede perder más humedad y el proceso de secado termino.

#### 4.1.2 Bandeja con agujeros

- Datos iniciales:

Peso inicial de la manzana: 190 g

Contenido de humedad: 84 %

Temperatura de secado: 50 °C (Tabla 5)

Temperatura de bulbo seco: 42.3 °C

Temperatura de bulbo húmedo: 19,4 °C

Velocidad del aire: 2.05 m/s

Humedad relativa: 27 %

Área de la bandeja:

Ec.16

$$A_{Agujeros} = \left( \pi * \frac{\left( \frac{5 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}} * 1 \text{ m} \right)^2}{4} \right) * 381 = 7.48 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Ec.17

$$A_{Bandeja} = \left( 32 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) \left( 28 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) = 0.0896 \text{ m}^2$$

Ec.18

$$A_{Total} = A_{Bandeja} - A_{Agujeros} = (0.0896 \text{ m}^2 - 7.48 * 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$A_{Total} = 0.08212 \text{ m}^2$$

Tabla 14.

*Relación peso-tiempo del producto*

TIEMPO (h)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
PESO (g)	137	115	95	78	66	55	47	38	33	28	27

Fuente: Elaboración Propia

Pasadas 5 horas el peso del producto se mantuvo en 28 g con una variación de 1 y 2 gramos por lo cual se concluye que el proceso de pérdida de humedad termino.

#### 4.1.2.1 *Calculo de la humedad*

Tabla 15.

*Calculo de perdida de humedad*

TIEMPO (h)	PESO (g)	$X_t = \frac{W - W_s}{W_s}$	PERDIDA DE HUMEDAD (%)
0.5	137	0.35	35 %

1	115	0.22	22 %
1.5	95	0.21	21 %
2	78	0.19	19 %
2.5	66	0.18	18 %
3	55	0.23	23 %
3.5	47	0.17	17 %
4	38	0.2	20%
4.5	33	0.16	16 %
5	28	0.15	15 %
5.5	27	0.13	13 %

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2.2 Velocidad de secado

- Densidad:

La densidad se obtiene con la temperatura de bulbo húmedo (19.4 °C) y la presión de 101.2 KPa, a través de tablas de las Propiedades Físicas del Aire. Para esto se debe interpolar los valores encontrados en la tabla y posteriormente realizar una regla de tres para obtener la densidad correcta.

Tabla 16.  
*Interpolación*

INTERPOLACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE	
$X_0 = 10\text{ °C}$	$Y_0 = 1,038\text{ Kg/ m}^3$
$X = 19.4\text{ °C}$	$Y =$
$X_1 = 37.8\text{ °C}$	$Y_1 = 1,043\text{ Kg/ m}^3$

Fuente: Elaboración Propia



Se emplea la siguiente ecuación:

Ec.15

$$Y = Y_0 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} (X - X_0)$$

Teniendo así un valor de:  $Y = 1.040 \text{ Kg} / \text{m}^3$

Ahora se efectúa una regla de tres para determinar la densidad del aire a la presión de Riobamba la cual es de 101.2KPa, entonces:

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ KPa}$$

$$101.325 \text{ KPa} \rightarrow 1.040 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$101.2 \text{ KPa} \rightarrow X$$

$$X = 1.039 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

#### 4.1.2.2.1 Cálculo de Velocidad de masa (G)

$$G = v * p$$

$$G = 2.05 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.039 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}}$$

$$G = 7667.82 \frac{\text{Kg}}{\text{h} * \text{m}^2}$$

#### 4.1.2.2.2 Determinar el Coeficiente de Convección

La ecuación a emplear es para flujo de aire paralelo:

$$h = 0.0204 * G^{0.8}$$

$$h = 0.0204 * 7667.82^{0.8}$$

$$h = 26.14 \frac{W}{m^2 K}$$

#### 4.1.2.2.3 Determinar la Velocidad de Secado

$$\lambda_w = 2454.97 \frac{KJ}{kg}$$

Dato obtenido mediante la aplicación Toolbox ingresando la temperatura de bulbo húmedo.



Figura 29. Datos Toolbox

Fuente: Toolbox

Despeje:

$$R_c = \frac{h(T - T_w)}{\lambda_w}$$

$$R_c = \frac{26.14 \frac{J/s}{m^2 * K} (42.3 - 19.4)K}{2454.97 \frac{Kj}{Kg} * \frac{1000}{1 Kj}}$$

$$R_c = 2.44 * 10^{-4} \frac{Kg}{m^2 * s} * \frac{3600s}{1h} = 0.878 \frac{Kg H_2O}{m^2 * h}$$

#### 4.1.2.3 Tiempo de secado

$$t = \frac{L_S (X_1 - X_2)}{A * R_c}$$

$$t = \frac{0.190 \text{ Kg} (0.84 - 1.3 * 10^{-4}) \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg solido seco}}}{0.08212 \text{ m}^2 * 0.878 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{m}^2 * \text{h}}}$$

$$t = 2.02 \text{ h}$$

El tiempo teórico del proceso es de 2.02 h, pero en la práctica se demora más (5,5 h) porque el deshidratador tiene pérdida de calor al abrir y retirar la bandeja cada 30 minutos para tomar las mediciones, además la temperatura se pierde mientras el aire fluye por el conducto hasta llegar al producto ya que con el medidor de estrés térmico se demuestra que solo llegan 42.3 °C de los 50°C que deberían llegar.

#### 4.1.2.4 Curva de secado

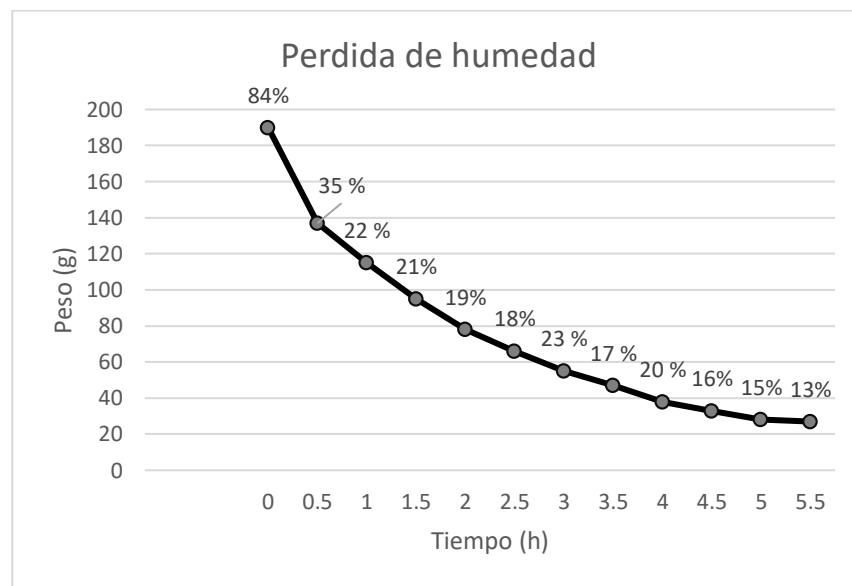


Figura 30. Curva de secado, bandeja con agujeros

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se puede observar la relación de la pérdida de peso y por ende de humedad en base al tiempo que es durante un periodo de 5.5 horas, pero cabe mencionar que al llegar las 5 horas el producto llega a un peso constante (28 g) que demuestra que no puede perder más humedad y el proceso de secado termino.

Cabe mencionar que durante el ensayo se midió la temperatura que llega al producto utilizando una termocupla tipo J y marcó una temperatura de 38 °C de los 50 °C que debería llegar demostrando así que se está perdiendo calor como se observa en la figura 31.



*Figura 31. Temperatura en el producto*  
*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.2 Cambio del motor monofásico del ventilador del deshidratador a trifásico para obtener un flujo de aire variable.**

El cambio e instalación del motor paso por paso se muestra en la metodología desde la figura 5 hasta la figura 10 y las especificaciones y comparación con el anterior se muestra en la tabla 10 a continuación, se describe los resultados obtenidos después del cambio de motor y la obtención de un flujo variable.

## 4.2.0 Resultados de la investigación después de la aplicación del motor y variador de frecuencia.

### 4.2.1 Bandeja sin agujeros

Se toman los datos cada 30 minutos (0.5 h) para comprobar la pérdida de peso del producto (manzana) hasta obtener un peso constante o con una variación mínima de 1 a 3 gramos. Según UNESCO (2010), afirma que la humedad máxima de la manzana es de 84 %. Así se obtiene:

- Datos iniciales:

Peso inicial de la manzana: 188 g

Contenido de humedad: 84 %

Temperatura de secado: 50 °C (Tabla 5)

Temperatura de bulbo seco: 42.8 °C

Temperatura de bulbo húmedo: 20,4 °C

Velocidad del aire: 3.51 m/s

Humedad relativa: 25 %

Área de la bandeja: 0.08897 m<sup>2</sup>

Tabla 17.  
*Relación peso-tiempo del producto*

TIEMPO (h)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
PESO (g)	108	81	60	47	39	35	32	29

Fuente: Elaboración Propia

Pasadas 4 horas el peso del producto se mantuvo en 29 g con una variación de 1 y 2 gramos por lo cual se concluye que el proceso de pérdida de humedad terminó.

#### 4.2.1.1 Cálculo de la humedad

Tabla 18.  
Cálculo de pérdida de humedad

TIEMPO (h)	PESO (g)	$X_t = \frac{W - W_s}{W_s}$	PERDIDA DE HUMEDAD (%)
0.5	108	0.741	74 %
1	81	0.333	33 %
1.5	60	0.350	35 %
2	47	0.276	27 %
2.5	39	0.205	20 %
3	35	0.114	11 %
3.5	32	0.094	9,4 %
4	29	0.103	10.3 %

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.1.2 Velocidad de secado

- Densidad:

La densidad se obtiene con la temperatura de bulbo húmedo (20.4 °C) y la presión de 101.2 KPa, a través de tablas de las Propiedades Físicas del Aire. Para esto se debe interpolar los valores encontrados en la tabla y posteriormente realizar una regla de tres para obtener la densidad correcta.

Tabla 19.  
Interpolación

INTERPOLACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE	
$X_o = 10 \text{ °C}$	$Y_o = 1,038 \text{ Kg/ m}^3$

$$X = 20.4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Y =$$

$$X_1 = 37.8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Y_1 = 1,043 \text{ Kg/ m}^3$$

---

Fuente: Elaboración Propia

Se emplea la siguiente ecuación:

Ec.15

$$Y = Y_0 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} (X - X_0)$$

Teniendo así un valor de:  $Y = 1.040 \text{ Kg / m}^3$

Ahora se efectúa una regla de tres para determinar la densidad del aire a la presión de Riobamba la cual es de 101.2KPa, entonces:

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ KPa}$$

$$101.325 \text{ KPa} \rightarrow 1.040 \text{ Kg/ m}^3$$

$$101.2 \text{ KPa} \rightarrow X$$

$$X = 1.039 \text{ Kg / m}^3$$

#### 4.2.1.2.1 Cálculo de Velocidad de masa (G)

$$G = v * p$$

$$G = 3.51 \frac{m}{s} * 1.039 \frac{Kg}{m^3} * \frac{3600s}{1h}$$

$$G = 13128.804 \frac{Kg}{h * m^2}$$

#### 4.2.1.2.2 Determinar el Coeficiente de Convección

La ecuación a emplear es para flujo de aire paralelo:

$$h = 0.0204 * G^{0.8}$$

$$h = 0.0204 * 13128.804^{0.8}$$

$$h = 40.19 \frac{W}{m^2 K}$$

#### 4.2.1.2.3 Determinar la Velocidad de Secado

$$\lambda_w = 2452.6 \frac{KJ}{kg}$$

Dato obtenido mediante la aplicación Toolbox ingresando la temperatura de bulbo húmedo.



Figura 32. Datos en Toolbox

Fuente: Toolbox

Despeje:

$$Rc = \frac{h(T - T_w)}{\lambda_w}$$

$$Rc = \frac{40.19 \frac{J/s}{m^2 * K} (42.8 - 20.4)K}{2452.6 \frac{Kj}{Kg} * \frac{1000}{1 Kj}}$$



$$R_c = 3.671 \cdot 10^{-4} \frac{Kg}{m^2 \cdot s} * \frac{3600s}{1h} = 1.321 \frac{Kg H_2O}{m^2 \cdot h}$$

#### 4.2.1.3 Tiempo de secado

$$t = \frac{L_s (X_1 - X_2)}{A * R_c}$$

$$t = \frac{0.188 Kg (0.84 - 1.03 \cdot 10^{-4}) \frac{Kg H_2O}{Kg \text{ sólido seco}}}{0.08897 m^2 * 1.321 \frac{Kg H_2O}{m^2 \cdot h}}$$

$$t = 1.47 h$$

El tiempo teórico del proceso es de 1.47 h, pero en la práctica se demora más (4 h) porque el deshidratador tiene pérdida de calor al abrir y retirar la bandeja cada 30 minutos para tomar las mediciones.

#### 4.2.1.4 Curva de secado

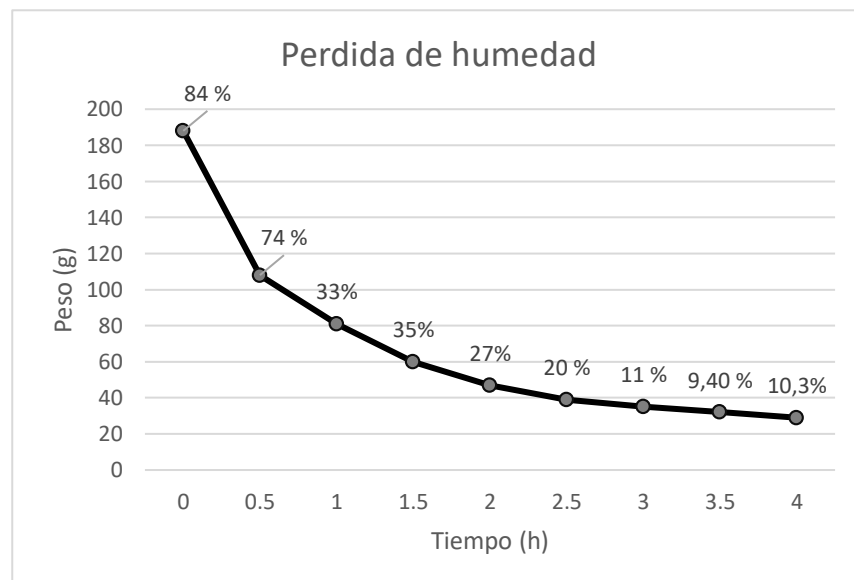


Figura 33. Curva de secado, bandeja sin agujeros

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se puede observar la relación de la pérdida de peso y por ende de humedad en base al tiempo que es durante un periodo de 4 horas hasta que el producto llega a un peso constante (29 g) que demuestra que no puede perder más humedad y el proceso de secado termino.

#### 4.2.2 Bandeja con agujeros

- Datos iniciales:

Peso inicial de la manzana: 190 g

Contenido de humedad: 84 %

Temperatura de secado: 50 °C (Tabla 5)

Temperatura de bulbo seco: 42.8 °C

Temperatura de bulbo húmedo: 20,4 °C

Velocidad del aire: 3.51 m/s

Humedad relativa: 26.4 %

Área de la bandeja:

Ec.16

$$A_{Agujeros} = \left( \pi * \frac{\left( \frac{5 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}} * 1 \text{ m} \right)^2}{4} \right) * 381 = 7.48 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Ec.17

$$A_{Bandeja} = \left( 32 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) \left( 28 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) = 0.0896 \text{ m}^2$$

Ec.18

$$A_{Total} = A_{Bandeja} - A_{Agujeros} = (0.0896 \text{ m}^2 - 7.48 * 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$A_{Total} = 0.08212 \text{ m}^2$$

Tabla 20.  
*Relación peso-tiempo del producto*

TIEMPO (h)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
PESO (g)	111	81	58	44	36	32	29	28

Fuente: Elaboración Propia

Pasadas 3.5 horas el peso del producto se mantuvo en 29 g con una variación de 1 y 2 gramos por lo cual se concluye que el proceso de pérdida de humedad termino.

#### 4.2.2.1 *Calculo de la humedad*

Tabla 21.  
*Calculo de perdida de humedad*

TIEMPO (h)	PESO (g)	$X_t = \frac{W - W_S}{W_S}$	PERDIDA DE HUMEDAD (%)
0.5	111	0.712	71.2 %
1	81	0.370	37 %
1.5	58	0.397	39.7 %
2	44	0.318	31.8 %
2.5	36	0.222	22.2 %
3	32	0.125	12.5 %
3.5	29	0.103	10.3 %
4	28	0.036	3.6 %

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.2.2 *Velocidad de secado*

- Densidad:

La densidad se obtiene con la temperatura de bulbo húmedo (20.4 °C) y la presión de 101.2 KPa, a través de tablas de las Propiedades Físicas del Aire. Para esto se debe interpolar los valores encontrados en la tabla y posteriormente realizar una regla de tres para obtener la densidad correcta.

Tabla 22.  
*Interpolación*

INTERPOLACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE	
X <sub>0</sub> = 10 °C	Y <sub>0</sub> = 1,038 Kg/ m <sup>3</sup>
X = 20.4 °C	Y =
X <sub>1</sub> = 37.8 °C	Y <sub>1</sub> = 1,043 Kg/ m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración Propia

Se emplea la siguiente ecuación:

Ec.15

$$Y = Y_0 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} (X - X_0)$$

Teniendo así un valor de: Y = 1.040 Kg / m<sup>3</sup>

Ahora se efectúa una regla de tres para determinar la densidad del aire a la presión de Riobamba la cual es de 101.2KPa, entonces:

1 atm = 101.325 KPa

**101. 325 KPa → 1. 040 Kg/ m<sup>3</sup>**

**101. 2 KPa g → X**

$$X = 1.039 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

#### 4.2.2.2.1 Cálculo de Velocidad de masa (G)

$$G = v * p$$

$$G = 3.51 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.039 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}}$$

$$G = 13128.804 \frac{\text{Kg}}{\text{h} * \text{m}^2}$$

#### 4.2.2.2.2 Determinar el Coeficiente de Convección

La ecuación a emplear es para flujo de aire paralelo:

$$h = 0.0204 * G^{0.8}$$

$$h = 0.0204 * 13128.804^{0.8}$$

$$h = 40.19 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

#### 4.2.2.2.3 Determinar la Velocidad de Secado

$$\lambda_w = 2452.6 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

Dato obtenido mediante la aplicación Toolbox ingresando la temperatura de bulbo húmedo.



Figura 34. Datos en Toolbox

Fuente: Toolbox

Despeje:

$$R_c = \frac{h(T - T_w)}{\lambda_w}$$

$$R_c = \frac{40.19 \frac{J/s}{m^2 * K} (42.8 - 20.4)K}{2452.6 \frac{Kj}{Kg} * \frac{1000}{1 Kj}}$$

$$R_c = 3.671 * 10^{-4} \frac{Kg}{m^2 * s} * \frac{3600s}{1h} = 1.321 \frac{Kg H_2O}{m^2 * h}$$

#### 4.2.2.3 Tiempo de secado

$$t = \frac{L_s (X_1 - X_2)}{A * R_c}$$

$$t = \frac{0.190 Kg (0.84 - 3.6 * 10^{-5}) \frac{Kg H_2O}{Kg solido seco}}{0.08212 m^2 * 1.321 \frac{Kg H_2O}{m^2 * h}}$$

$$t = 1.40 h$$

El tiempo teórico del proceso es de 1.40 h, pero en la práctica se demora más (3.30 h) porque el deshidratador tiene pérdida de calor al abrir y retirar la bandeja cada 30 minutos para tomar las mediciones.

#### 4.2.2.4 Curva de secado

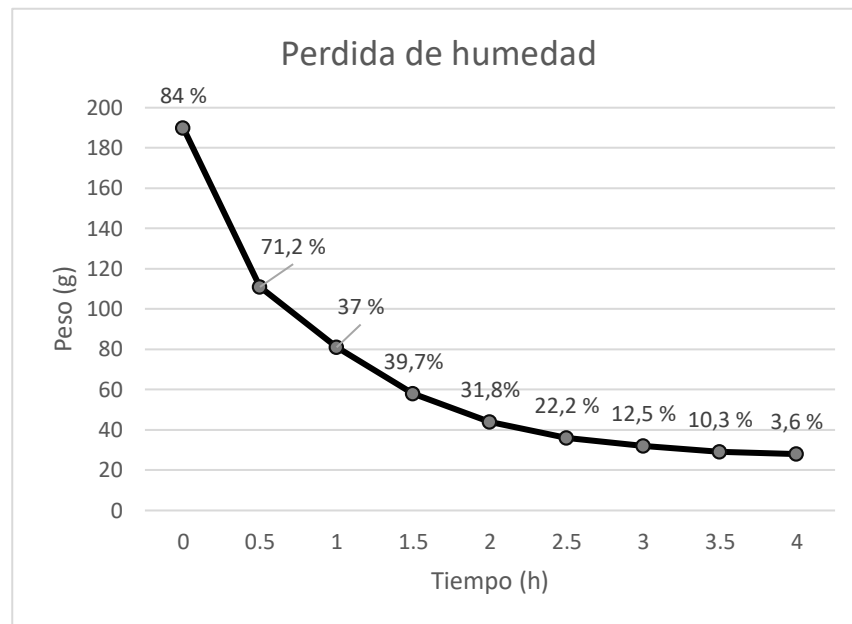


Figura 35. Curva de secado, bandeja con agujeros

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se puede observar la relación de la pérdida de peso y por ende de humedad en base al tiempo que es durante un periodo de 4 horas hasta que el producto llega a un peso constante (29 g) que demuestra que no puede perder más humedad y el proceso de secado terminó. Se puede notar que para este caso el producto terminó su proceso de pérdida de humedad a las 3.30 h exactamente.

Cabe mencionar que durante el ensayo se midió la temperatura que llega al producto utilizando una termocupla tipo J y marcó una temperatura de 49 °C de los 50°C que debería llegar demostrando así que con el flujo de aire constante la temperatura llega con una variación mínima hasta el producto como se observa en la figura 36.



*Figura 36. Temperatura en el producto*

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.3 Instalación y programación del variador de frecuencia en el sistema de control del deshidratador con el ingreso de parámetros del motor para controlar su velocidad.**

La instalación y colocación de los parámetros del motor en el variador de frecuencia se encuentran en la metodología ver la tabla 3 y la figura 10. A continuación se muestran los resultados obtenidos luego de la implementación del variador.

##### **4.3.0 Resultados finales de la investigación después de la aplicación completa.**

En este ensayo se realiza la toma y medición de datos finales para comprobar la mejora total del proceso una vez ya implementado el control del flujo del aire junto con el motor y variador de frecuencia, además de la calibración y colocación de la balanza para medir el peso que pierde el producto sin la necesidad de abrir el deshidratador para pesar las bandejas reduciendo así la pérdida de calor.



### 4.3.1 Bandeja sin agujeros

Se tomaron los datos cada 30 minutos (0.5 h) para comprobar la pérdida de peso del producto (manzana) hasta obtener un peso constante o con una variación mínima de 1 a 3 gramos. Según UNESCO (2010), afirma que la humedad máxima de la manzana es de 84 %. Así se obtiene:

- Datos iniciales:

Peso inicial de la manzana: 188 g

Contenido de humedad: 84 %

Temperatura de secado: 50 °C (Tabla 5)

Temperatura de bulbo seco: 42.2 °C

Temperatura de bulbo húmedo: 19,9 °C

Velocidad del aire: 3.51 m/s

Humedad relativa: 26 %

Área de la bandeja: 0.08897 m<sup>2</sup>

Tabla 23.

*Relación peso-tiempo del producto*

TIEMPO (h)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
PESO (g)	151	117	68	48	34	28

Fuente: Elaboración Propia

Pasadas 3 horas el peso del producto se mantuvo en 28 g con una variación de 1 y 2 gramos por lo cual se concluye que el proceso de pérdida de humedad terminó.

#### 4.3.1.1 Cálculo de la humedad

Tabla 24.  
Cálculo de pérdida de humedad

TIEMPO (h)	PESO (g)	$X_t = \frac{W - W_s}{W_s}$	PERDIDA DE HUMEDAD (%)
0.5	151	0.25	25%
1	117	0.29	29%
1.5	68	0.72	72%
2	48	0.42	42%
2.5	34	0.41	41%
3	28	0.21	21%

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.1.2 Velocidad de secado

- Densidad:

La densidad se obtiene con la temperatura de bulbo húmedo (19.9 °C) y la presión de 101.2 KPa, a través de tablas de las Propiedades Físicas del Aire. Para esto se debe interpolar los valores encontrados en la tabla y posteriormente realizar una regla de tres para obtener la densidad correcta.

Tabla 25.  
Interpolación

INTERPOLACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE	
$X_0 = 10\text{ °C}$	$Y_0 = 1,038\text{ Kg/ m}^3$
$X = 19.9\text{ °C}$	$Y =$

$$X_1 = 37.8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Y_1 = 1,043 \text{ Kg/ m}^3$$

---

Fuente: Elaboración Propia

Se emplea la siguiente ecuación:

Ec.15

$$Y = Y_0 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} (X - X_0)$$

Teniendo así un valor de:  $Y = 1.041 \text{ Kg / m}^3$

Ahora se efectúa una regla de tres para determinar la densidad del aire a la presión de Riobamba la cual es de 101.2KPa, entonces:

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ KPa}$$

$$101.325 \text{ KPa} \rightarrow 1.041 \text{ Kg/ m}^3$$

$$101.2 \text{ KPa} \rightarrow X$$

$$X = 1.042 \text{ Kg / m}^3$$

#### 4.3.1.2.1 Cálculo de Velocidad de masa (G)

$$G = v * p$$

$$G = 3.51 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.042 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}}$$

$$G = 13166.712 \frac{\text{Kg}}{\text{h} * \text{m}^2}$$

#### 4.3.1.2.2 Determinar el Coeficiente de Convección

La ecuación a emplear es para flujo de aire paralelo:

$$h = 0.0204 * G^{0.8}$$

$$h = 0.0204 * 13166.712^{0.8}$$

$$h = 40.29 \frac{W}{m^2 K}$$

#### 4.3.1.2.3 Determinar la Velocidad de Secado

$$\lambda_w = 2452.6 \frac{KJ}{kg}$$

Dato obtenido mediante la aplicación Toolbox ingresando la temperatura de bulbo húmedo.



Figura 37. Datos en Toolbox

Fuente: Toolbox

Despeje:

$$Rc = \frac{h(T - T_w)}{\lambda_w}$$

$$Rc = \frac{40.29 \frac{J/s}{m^2 * K} (42.2 - 19.9)K}{2453.8 \frac{Kj}{Kg} * \frac{1000}{1 Kj}}$$

$$R_c = 3.661 * 10^{-4} \frac{Kg}{m^2 * s} * \frac{3600s}{1h} = 1.318 \frac{Kg H_2O}{m^2 * h}$$

#### 4.3.1.3 Tiempo de secado

$$t = \frac{L_s (X_1 - X_2)}{A * R_c}$$

$$t = \frac{0.188 Kg (0.84 - 2.1 * 10^{-4}) \frac{Kg H_2O}{Kg \text{ solido seco}}}{0.08897 m^2 * 1.318 \frac{Kg H_2O}{m^2 * h}}$$

$$t = 1.47 h$$

El tiempo teórico del proceso es de 1.47 h con las nuevas condiciones luego de la implementación, pero en la práctica se demora más (3 h) porque el deshidratador tiene pérdida de calor en algunos lugares que requieren reparación, pero en comparación con el tiempo antes de la implementación se han reducido 2h30min ya que proceso duraba 5h30min.

#### 4.3.1.4 Curva de secado

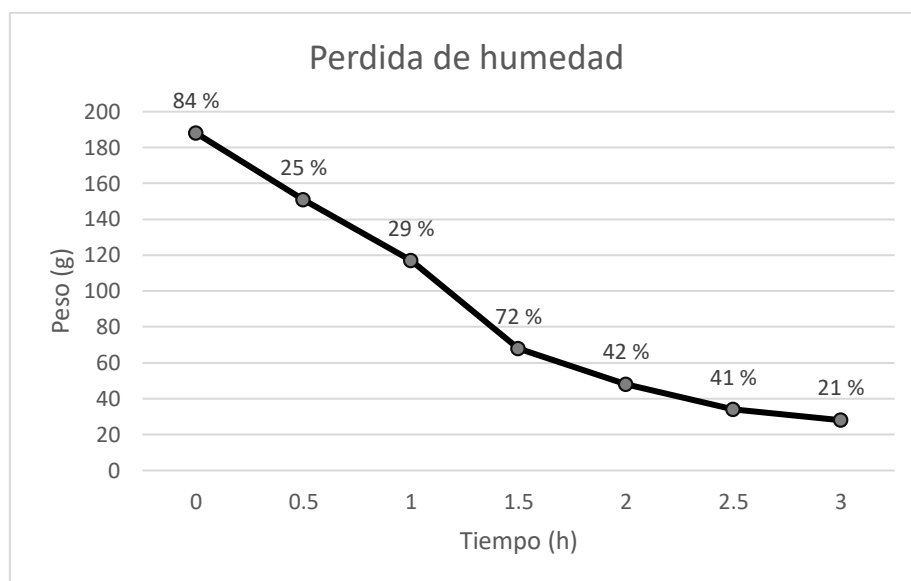


Figura 38. Curva de secado, bandeja con agujeros

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se puede observar la relación de la pérdida de peso y por ende de humedad en base al tiempo que es durante un periodo de 3 horas hasta que el producto llega a un peso constante (28 g) que demuestra que no puede perder más humedad y el proceso de secado termino.

#### 4.3.2 Bandeja con agujeros

- Datos iniciales:

Peso inicial de la manzana: 190 g

Contenido de humedad: 84 %

Temperatura de secado: 50 °C (Tabla 5)

Temperatura de bulbo seco: 42.2 °C

Temperatura de bulbo húmedo: 19.9 °C

Velocidad del aire: 3.51 m/s

Humedad relativa: 26.4 %

Área de la bandeja:

Ec.16

$$A_{Agujeros} = \left( \pi * \frac{\left( \frac{5 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}} * 1 \text{ m} \right)^2}{4} \right) * 381 = 7.48 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Ec.17

$$A_{Bandeja} = \left( 32 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) \left( 28 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) = 0.0896 \text{ m}^2$$

Ec.18

$$A_{Total} = A_{Bandeja} - A_{Agujeros} = (0.0896 \text{ m}^2 - 7.48 * 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$A_{Total} = 0.08212 \text{ m}^2$$

Tabla 26.

*Relación peso-tiempo del producto*

TIEMPO (h)	0.5	1	1.5	2	2.5
PESO (g)	139	87	60	37	28

Fuente: Elaboración Propia

Pasadas 3.5 horas el peso del producto se mantuvo en 28 g con una variación de 1 y 2 gramos por lo cual se concluye que el proceso de pérdida de humedad termino.

#### 4.3.2.1 *Calculo de la humedad*

Tabla 27.

*Calculo de perdida de humedad*

TIEMPO (h)	PESO (g)	PERDIDA DE HUMEDAD
------------	----------	--------------------

		$X_t = \frac{W - W_s}{W_s}$	(%)
0.5	139	0.37	37 %
1	87	0.60	60 %
1.5	60	0.45	45 %
2	37	0.62	62 %
2.5	28	0.32	32 %

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.2.2 Velocidad de secado

- Densidad:

La densidad se obtiene con la temperatura de bulbo húmedo (19.9 °C) y la presión de 101.2 KPa, a través de tablas de las Propiedades Físicas del Aire. Para esto se debe interpolar los valores encontrados en la tabla y posteriormente realizar una regla de tres para obtener la densidad correcta.

Tabla 28.  
*Interpolación*

INTERPOLACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE	
X <sub>0</sub> = 10 °C	Y <sub>0</sub> = 1,038 Kg/ m <sup>3</sup>
X = 19.9 °C	Y =
X <sub>1</sub> = 37.8 °C	Y <sub>1</sub> = 1,043 Kg/ m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración Propia

Se emplea la siguiente ecuación:

Ec.15



$$Y = Y_0 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} (X - X_0)$$

Teniendo así un valor de:  $Y = 1.041 \text{ Kg} / \text{m}^3$

Ahora se efectúa una regla de tres para determinar la densidad del aire a la presión de Riobamba la cual es de 101.2KPa, entonces:

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ KPa}$$

$$101.325 \text{ KPa} \rightarrow 1.041 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$101.2 \text{ KPa} \rightarrow X$$

$$X = 1.042 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

#### 4.3.2.2.1 Cálculo de Velocidad de masa (G)

$$G = v * p$$

$$G = 3.51 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.042 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}}$$

$$G = 13166.712 \frac{\text{Kg}}{\text{h} * \text{m}^2}$$

#### 4.3.2.2.2 Determinar el Coeficiente de Convección

La ecuación a emplear es para flujo de aire paralelo:

$$h = 0.0204 * G^{0.8}$$

$$h = 0.0204 * 13166.712^{0.8}$$

$$h = 40.29 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

#### 4.3.2.2.3 Determinar la Velocidad de Secado

$$\lambda_w = 2452.6 \frac{KJ}{kg}$$

Dato obtenido mediante la aplicación Toolbox ingresando la temperatura de bulbo húmedo.



Figura 39. Datos en Toolbox

Fuente: Toolbox

Despeje:

$$Rc = \frac{h(T - T_w)}{\lambda_w}$$

$$Rc = \frac{40.29 \frac{J/s}{m^2 * K} (42.2 - 19.9)K}{2453.8 \frac{Kj}{Kg} * \frac{1000}{1 Kj}}$$

$$Rc = 3.661 * 10^{-4} \frac{Kg}{m^2 * s} * \frac{3600s}{1h} = 1.318 \frac{Kg H_2O}{m^2 * h}$$

#### 4.3.2.3 Tiempo de secado

$$t = \frac{L_S (X_1 - X_2)}{A * R_c}$$

$$t = \frac{0.190 \text{ Kg} (0.84 - 3.2 * 10^{-4}) \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg solido seco}}}{0.08212 \text{ m}^2 * 1.318 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{m}^2 * \text{h}}}$$

$$t = 1.35 \text{ h}$$

El tiempo teórico del proceso es de 1.35 h con las nuevas condiciones luego de la implementación, pero en la práctica se demora más (2h30min) porque el deshidratador tiene perdida de calor en algunos lugares que requieren reparación, pero en comparación con el tiempo antes de la implementación se han reducido 3 h ya que proceso duraba 5 h.

#### 4.3.2.4 Curva de secado

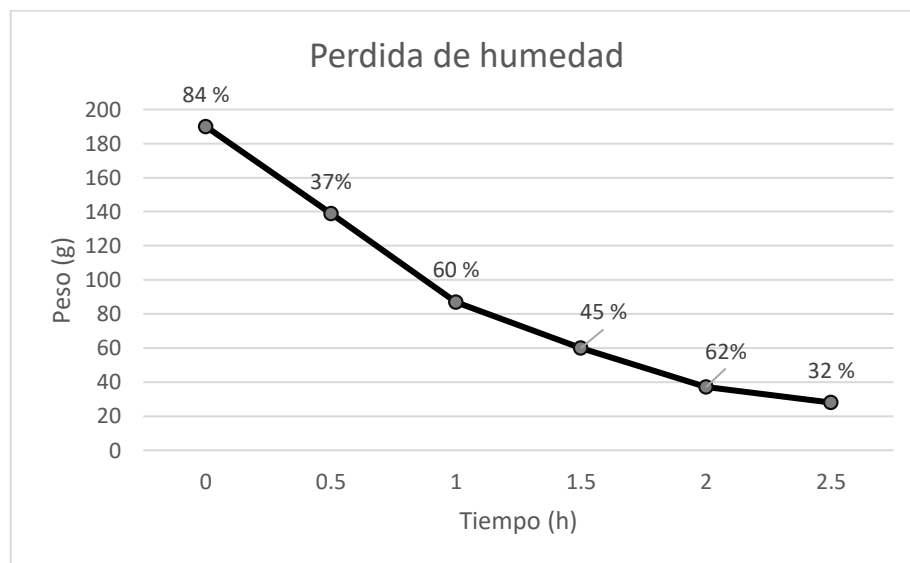


Figura 40. Curva de secado, bandeja con agujeros

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se puede observar la relación de la pérdida de peso y por ende de humedad en base al tiempo que es durante un periodo de 2h30min hasta que el producto llega a un peso constante (28 g) que demuestra que no puede perder más humedad y el proceso de secado termino.

## 4.4 Programación del controlador mediante software de ingeniería para el registro de las variables del proceso en un reporte.

Los pasos para la programación y el correcto control de velocidad del variador se encuentran especificados en la metodología ver la tabla 5 y las figuras de la 11 a la 24. A continuación, se muestran los resultados obtenidos con la implementación ya realizada.

### 4.4.0 Bandeja con agujeros

A continuación, en la figura 41 se muestra el reporte descargado de la temperatura y control de velocidad a lo largo del proceso, los datos se toman y descargan directamente de la tarjeta SD del LOGO8 cada minuto a lo largo de la práctica hasta que esta termine.

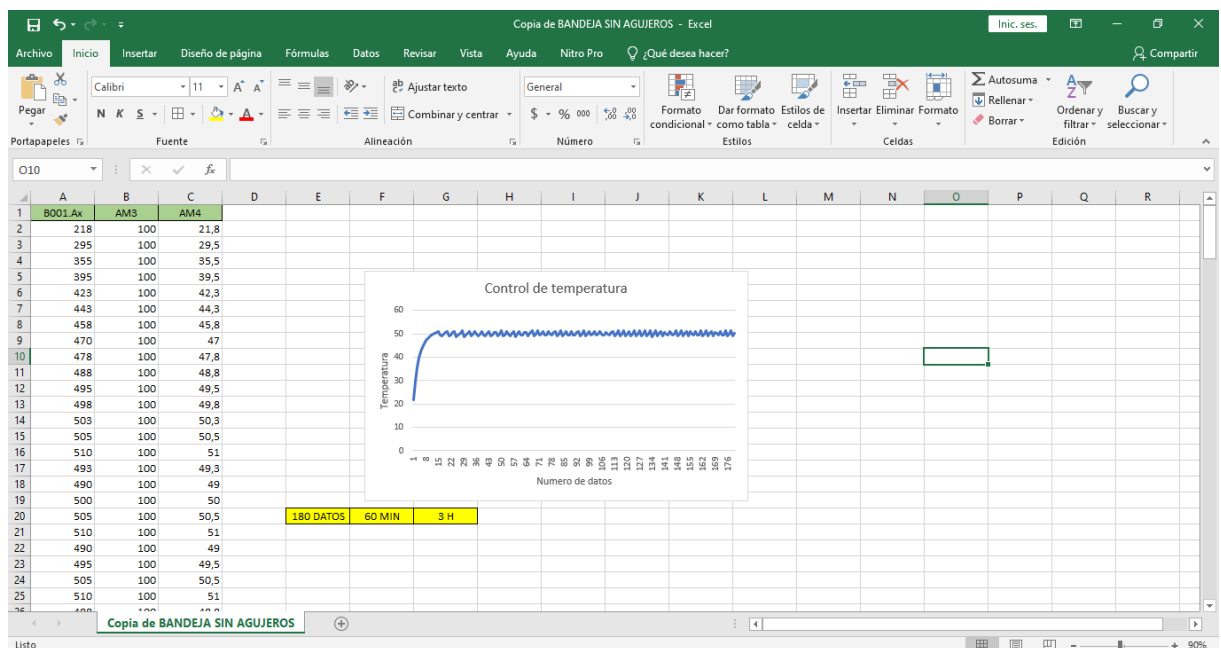


Figura 41. Reporte de datos

Fuente: Elaboración propia

Al obtener el reporte se obtiene una gráfica que muestra el incremento de la temperatura a lo largo del tiempo, cabe mencionar que al encender el deshidratador inicia con la temperatura ambiente y va incrementando hasta que llega a la temperatura programada que para este caso fueron 50 °C y gracias al control de velocidad del flujo de aire este se mantiene constante a lo largo de todo el proceso con una variación mínima al momento que se apagan las niquelinas, ver la figura 42.

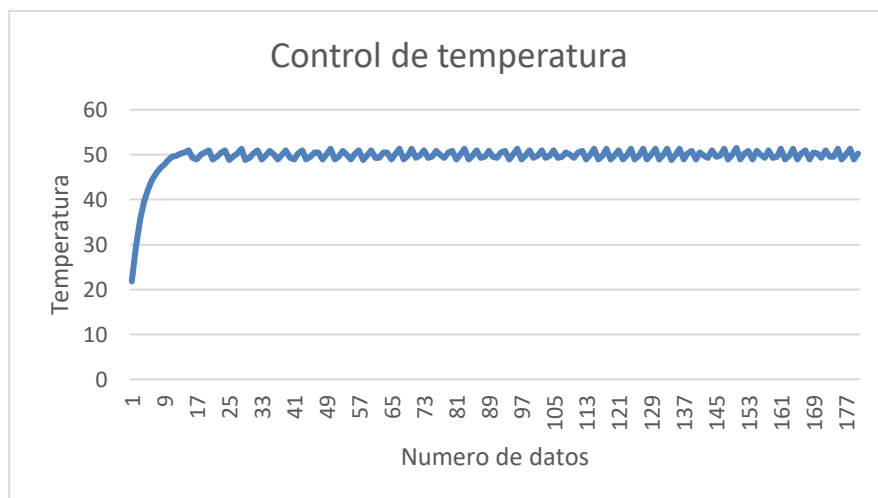


Figura 42. Control de temperatura

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.1 Bandeja sin agujeros

A continuación, en la figura 43 se muestra el reporte descargado de la temperatura y control de velocidad a lo largo del proceso, los datos se toman y descargan directamente de la tarjeta SD del LOGO8 cada minuto a lo largo de la práctica hasta que esta termine.

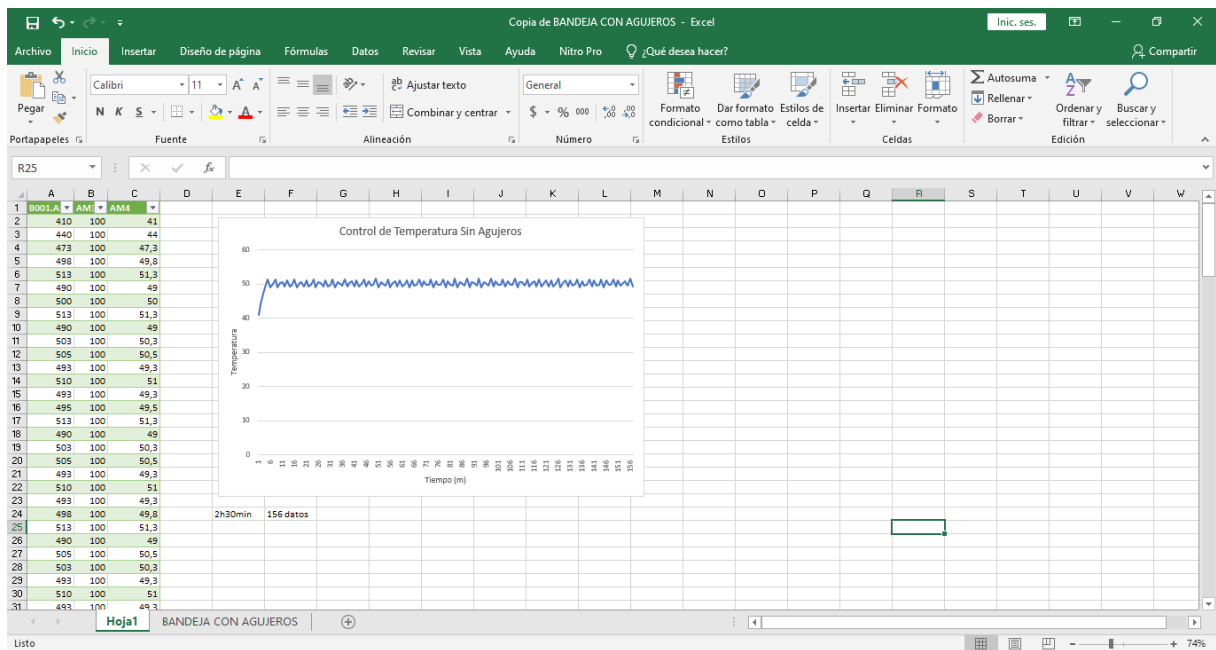
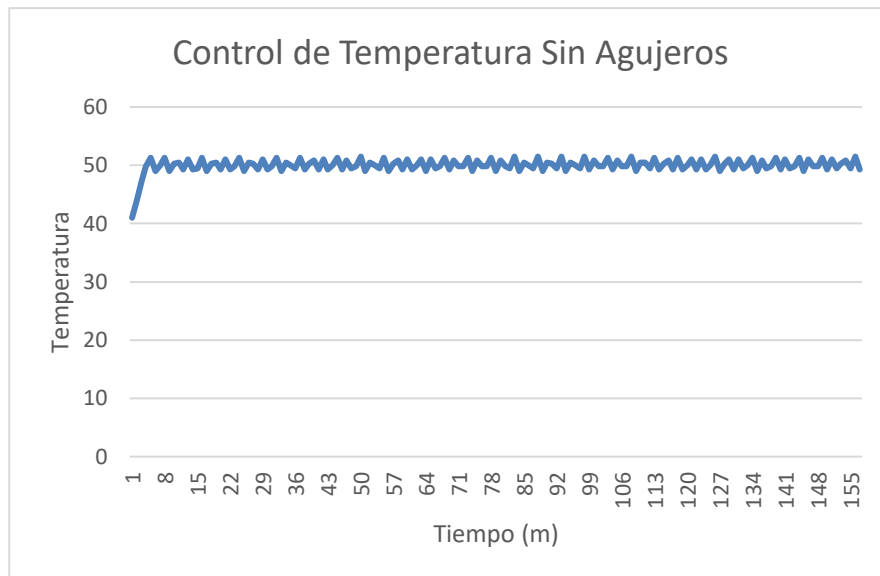


Figura 43. Reporte de datos

Fuente: Elaboración propia

Al obtener el reporte se obtiene una gráfica que muestra el incremento de la temperatura a lo largo del tiempo, cabe mencionar que al encender el deshidratador inicia con la temperatura ambiente y va incrementando hasta que llega a la temperatura programada que para este caso fueron 50 °C y gracias al control de velocidad del flujo de aire este se mantiene constante a lo largo de todo el proceso con una variación mínima al momento que se apagan las niquelinas, ver la figura 44.



*Figura 44. Control de temperatura*

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.5 Línea base actual**

Ahora los parámetros de velocidad del flujo de aire y peso se encuentran bajo control:

- La temperatura se mantiene constante durante toda la práctica y llega hasta el producto con una variación mínima, lo cual favorece al proceso de secado.
- El control de peso se da a través de una balanza que es encerrada ya con la bandeja para medir solo el peso del producto durante las practicas evitando así la perdida de calor.
- El flujo de aire es controlado mediante el variador de frecuencia comandado desde el LOGO8 y manipulado a elección a través del computador.
- Al finaliza la práctica existe la posibilidad de descargar los datos del flujo de aire y temperatura en función del tiempo, durante todo el proceso hasta que este acabe.

## CAPÍTULO V. MARCO HIPOTÉTICO

### 5.1 Planteamiento de la Hipótesis

La automatización del sistema de control del deshidratador optimizará los tiempos del proceso de secado.

#### 5.1.0 Hipótesis Estadística

$H_i = U_1 \neq U_2$ : El tiempo final del proceso es diferente al tiempo final después de automatizar el sistema de control del deshidratador; por lo que la automatización del sistema de control del deshidratador influye en el tiempo del proceso de secado.

$H_o = U_1 = U_2$ : El tiempo final del proceso es igual al tiempo final después de automatizar el sistema de control del deshidratador; por lo que la automatización del sistema de control del deshidratador no influye en el tiempo del proceso de secado.

#### 5.1.1 Nivel de significación

Para este caso se utilizará un nivel de significación del 5% ( $\alpha = 5\%$ )

#### 5.1.2 Criterio

Se aplico la prueba Z para medias de dos muestras, ya que se tiene 2 promedios a comparar de los dos ensayos que se realizaron antes y después de la automatización referentes al tiempo que demoro el proceso de secado, y se consideran los siguientes aspectos:

- Si el resultante de Z es mayor a el valor critico de dos colas de Z se aceptará la hipótesis de investigación y se rechazará la hipótesis nula.
- Si el resultante de Z es menor a el valor critico de dos colas de Z se rechazará la hipótesis de investigación y se aceptará la hipótesis nula.



### 5.1.3 Cálculo

Entonces para la deshidratación de la manzana se tienen los siguientes datos:

Tabla 29.

*Datos de los ensayos*

ID	ANTES	DESPUES
1	5,5	3,5
2	5	3
VARIANZA	0,0625	0,0625

Fuente: Software Excel

Tabla 30.

*Prueba z para medias de dos muestras.*

	VARIABLE 1	VARIABLE 2
MEDIA	5,2500	3,25
VARIANZA (CONOCIDA)	0,0625	0,0625
OBSERVACIONES	2	2
DIFERENCIA HIPOTÉTICA DE LAS MEDIAS	0,0000	
Z	8,0000	
P(Z<=Z) UNA COLA	0,0000	
VALOR CRÍTICO DE Z (UNA COLA)	1,6449	
VALOR CRÍTICO DE Z (DOS COLAS)	0,0000	
VALOR CRÍTICO DE Z (DOS COLAS)	1,9600	

Fuente: Software Excel

Se observa que Z (8.0000) es mayor a el valor critico de dos colas de Z (1.9600) y que la media del tiempo antes de la automatización en el deshidratador es de 5.25 H y después de la automatización del mismo es de 3.25 H, teniendo así una notable reducción en el tiempo del proceso de secado.

#### 5.1.4 Decisión

El resultante de Z (8.0000) es mayor a el valor critico de dos colas de Z (1.9600) por lo tanto se aceptará la hipótesis de investigación y se rechazará la hipótesis nula, se puede afirmar que:

$H_i$ : El tiempo final del proceso es diferente al tiempo final después de automatizar el sistema de control del deshidratador; por lo que la automatización del sistema de control del deshidratador influye en el tiempo del proceso de secado.

## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Se logró implementar un sistema de control y monitoreo mediante la automatización del proceso de secado en el deshidratador del laboratorio de Operaciones Unitarias de Ingeniería Industrial para optimizar el tiempo de este.

Se analizaron las condiciones actuales del deshidratador mediante pruebas de laboratorio para estudiar el proceso y mejorar el sistema de control y monitoreo.

También se logró cambiar el motor monofásico del ventilador del deshidratador a trifásico mediante un rediseño o adecuación mecánica de la máquina para obtener un flujo de aire variable.

Se instalo y programo un variador de frecuencia en el sistema de control del deshidratador con el ingreso de parámetros del motor para controlar su velocidad.

También se programó el controlador del deshidratador mediante software de ingeniería para el registro de las variables del proceso en un reporte.

Para concluir se puede decir que se ha comprobado la mejora en el proceso de secado en cuanto a la reducción del tiempo del mismo ya que iniciaba con un tiempo de secado de 5.25 H y una vez realizada la automatización y el sistema de control, el tiempo bajo a 3.25 H.

Finalmente se puede afirmar que la automatización y el sistema de control en el deshidratador influyen de una manera positiva para mejorar el proceso de secado, debido a que ahora es posible configurar la velocidad del flujo de aire enfocadas en la necesidad de cada producto además de tener el control de peso que evita la pérdida de calor ya que no es necesario abrir el deshidratador para conocer el peso que pierde el producto a lo largo del tiempo y de igual manera descargar los datos que se obtuvieron a lo largo del proceso para verificar que el proceso se encuentre bajo control.

## 6.2 Recomendaciones

Es recomendable seguir al pie de la letra las instrucciones para el correcto manejo del variador de frecuencia y generación de reportes y evitar posibles desconfiguraciones a futuro.

Asegurarse de encerrar correctamente la balanza antes de iniciar cada practica para evitar errores. Se recomienda elaborar un plan de mantenimiento para el deshidratador y todos sus elementos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer Quinteros, P., Calero Zurita, M., & Cedeño Zambrano, N. (2020, 16 marzo). *Automatización de los procesos industriales | Journal of business and entrepreneurial studie.* Estudios Empresariales y Emprendedores. <http://journalbusinesses.com/index.php/revista/article/view/82/297#info>

BRITO VELIZ, H. E. N. R. Y. F. R. A. N. K., & ESPINOZA PAZMIÑO, S. E. R. G. I. O. E. M. I. L. I. O. (2016). “*DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA CON MONITOREO DE PESO DE UN SECADOR DIDÁCTICO PARA REALIZAR PRUEBAS DE SECADO.*” dspace.espol.edu.ec.  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/100096/D-106217.pdf>

CORDOVA, F. R. A. N. C. I. S. C. O, & VELAZQUEZ, E. M. I. L. I. A. N. O (2015). “*AUTOMATIZACIÓN DEL SECADOR DE BANDEJAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESPOL*”, dspace.espol.edu.ec.  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/100096/D-106217.pdf>

*Definición de voltímetro* — *Definicion.de.* (2016, 23 abril). Definición. De.  
<https://definicion.de/voltimetro/>

Duarte, D. M. R. (2018, 20 septiembre). *La automatización: su impacto global y regional.* América Latina en Movimiento. <https://www.alainet.org/es/articulo/195441>

García, V. M. (2015, 30 septiembre). Automatización en procesos TI: migración de sistema operativo y despliegues en equipos cliente. Universidad Politécnica de Cataluña.  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/77185>

Geankoplis. (2006). Procesos de transporte y principios de procesos de separación. En Geankoplis, Humedad (págs. 578-581;581,583,584,589,593,594,596-598,600,602). México: Compañía Editorial Continental.

Gonzales, A. (2010). Automatización Industrial. Obtenido de <https://es.slideshare.net/silvianomberarea/automatizacion-industrial-21484132>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014).

Metodología de la Investigación. *Mac Graw Hill, México.*, 634.

JALIL NAJI \*, M. (2018). Industria 4.0, competencia digital y el nuevo Sistema de Formación Profesional para el empleo. *Relaciones Laborales y Derecho del Empleo*, 1(1), 1–35.  
[http://ejcls.adapt.it/index.php/rlde\\_adapt/article/view/555/0](http://ejcls.adapt.it/index.php/rlde_adapt/article/view/555/0)

M.O.T.O.R.E.X. (2020, 5 agosto). *Qué son los motores trifásicos y sus ventajas*. Motorex.  
Recuperado 6 de febrero de 2022, de <https://www.motorex.com.pe/blog/motores-trifasicosventajas/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20motor%20trif%C3%A1sico,utilizada%20en%20muchas%20aplicaciones%20industriales>.

Loza Zambrano, D. A., & Cabrera PhD, I. M. (2019). *AUTOMATIZACIÓN DEL SECADOR DE BANDEJAS DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS - FACULTAD DE INGENIERÍA, PARA CONTROLAR EL PROCESO DE SECADO* (1.<sup>a</sup> ed., Vol. 1). UNACH. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6>

Luis R., J. (2021, 16 junio). *Cómo funciona un amperímetro*. ComoFunciona | Explicaremos hasta cosas que NO existen! <https://como-funciona.co/un-amperimetro/>

*¿Qué es y para qué sirve un variador de frecuencia?* / S&P. (2020, 8 enero). S&P Sistemas de Ventilación. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/variador-de-frecuencia/>

Rubio, Bautista, Rodriguez, E. R. K. N. N. A. (2012, 29 marzo). *PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN e INSTRUMENTACIÓN EN UN SECADOR DE BANDEJAS TIPO CONVECTIVO*. <https://1library.co/document/4yrd5lvq-propuesta-automatizacion-instrumentacion-secador-bandejas-convectivo-obtencion-platano.html>.  
Recuperado 3 de mayo de 2022, de <https://1library.co/document/4yrd5lvq-propuesta-automatizacion-instrumentacion-secador-bandejas-convectivo-obtencion-platano.html>

Seader, H. R. (2011). Separations Process Principles, Chemical and biochemical operations.

Estados Unidos: Wiley. [significados.com](http://www.significados.com). (s.f.). [significados.com](http://www.significados.com). Obtenido de Calor,

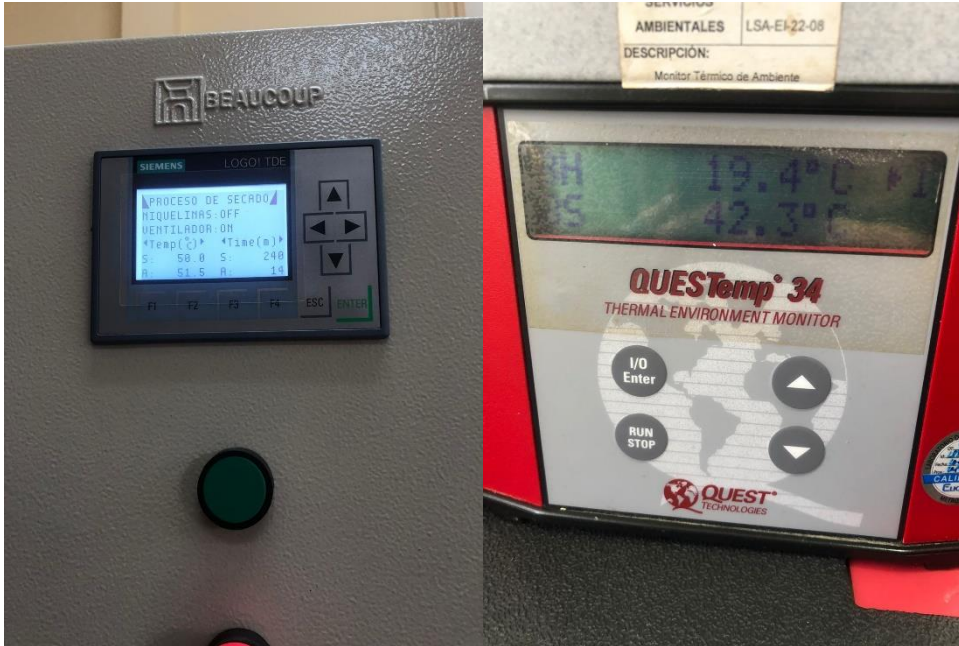
Calor específico, Calor latente, Temperatura, PLC: <https://www.significados.com>

Velázquez, A. (2020, 4 noviembre). *¿Qué es la investigación y tipos?* QuestionPro.

<https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-experimental/>

# ANEXOS

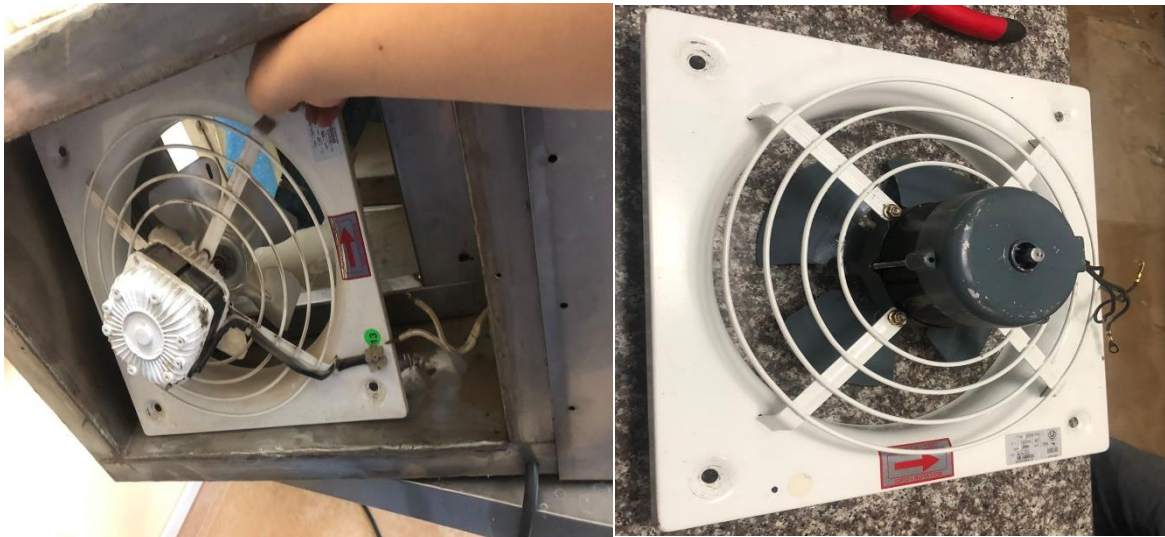
## 8.1 Anexo 1: Ensayo antes de la aplicación.

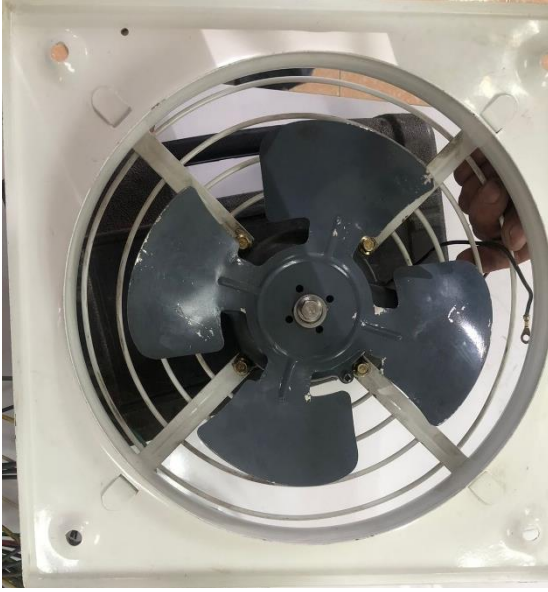






## 8.2 Anexo 2: Cambio del motor.

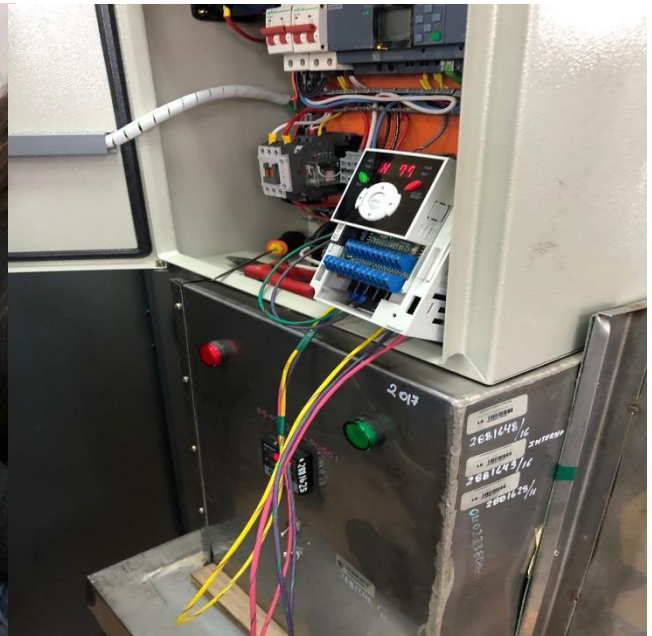
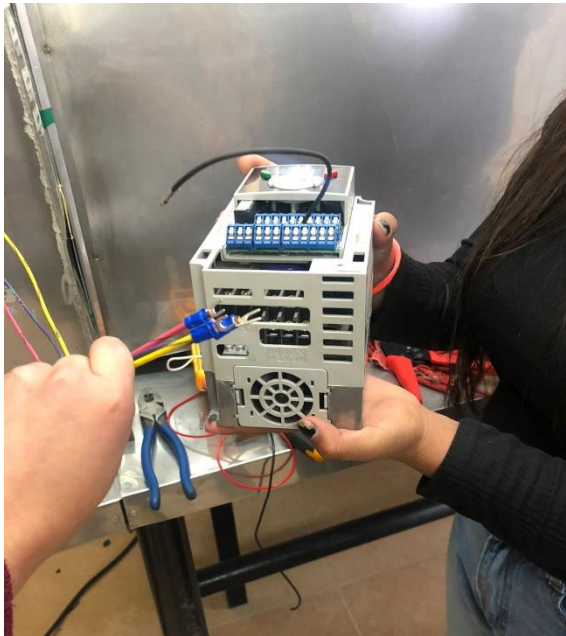
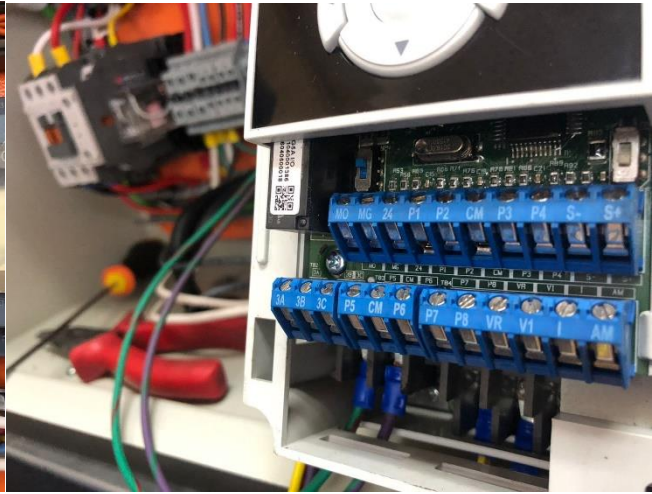








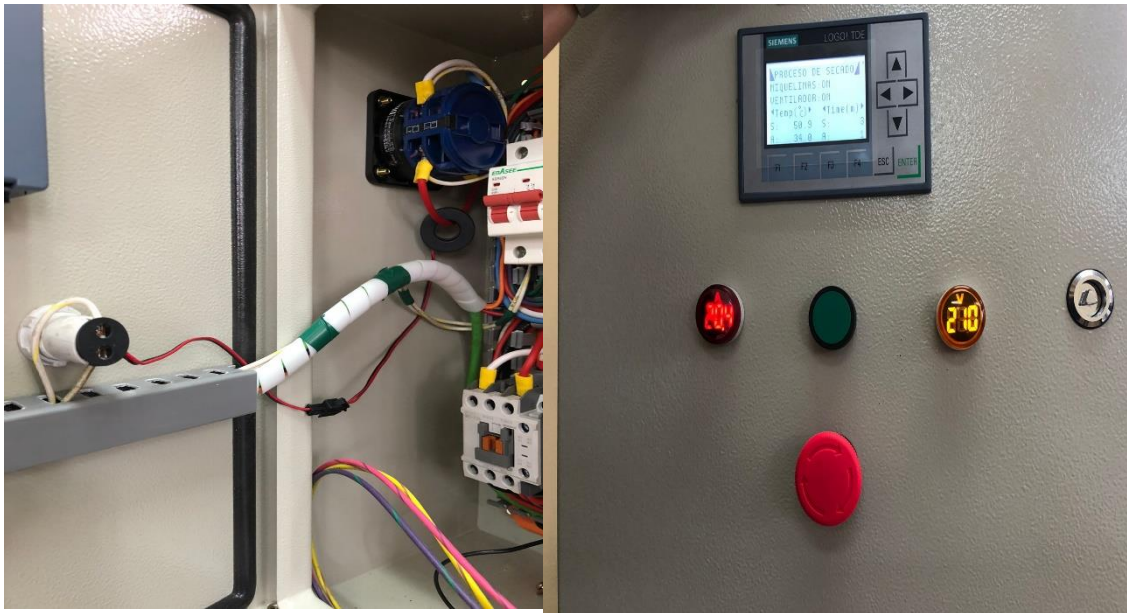
### 8.3 Anexo 3: Instalación del variador de frecuencia.



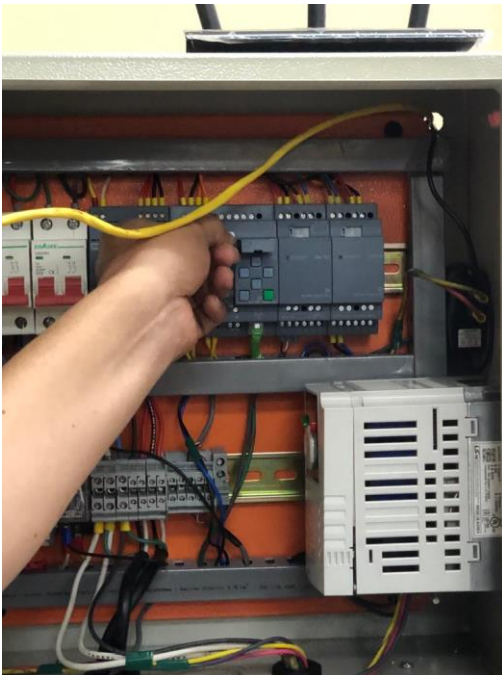
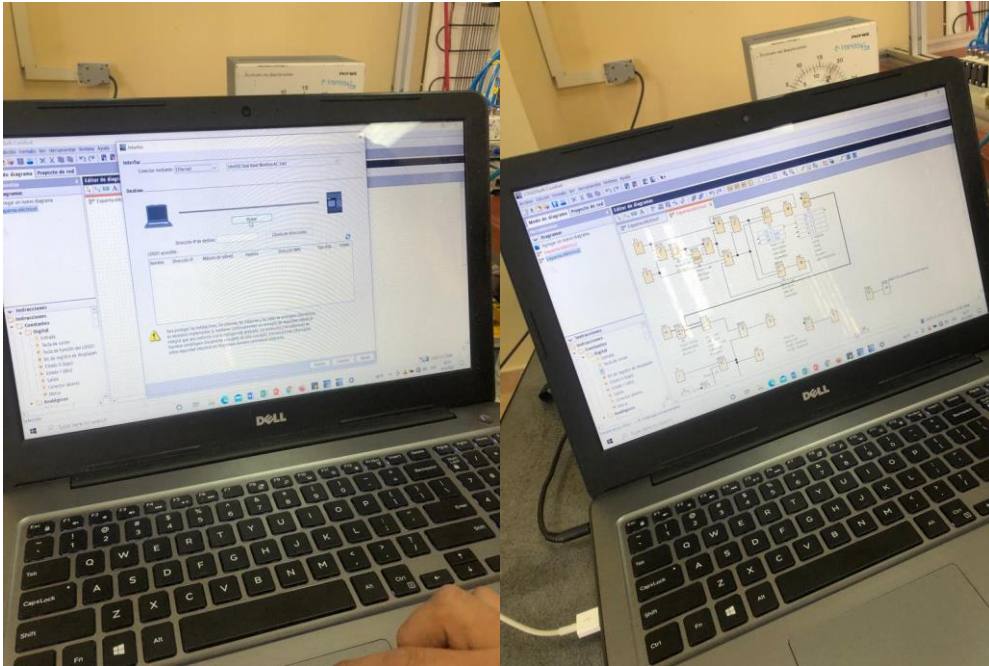




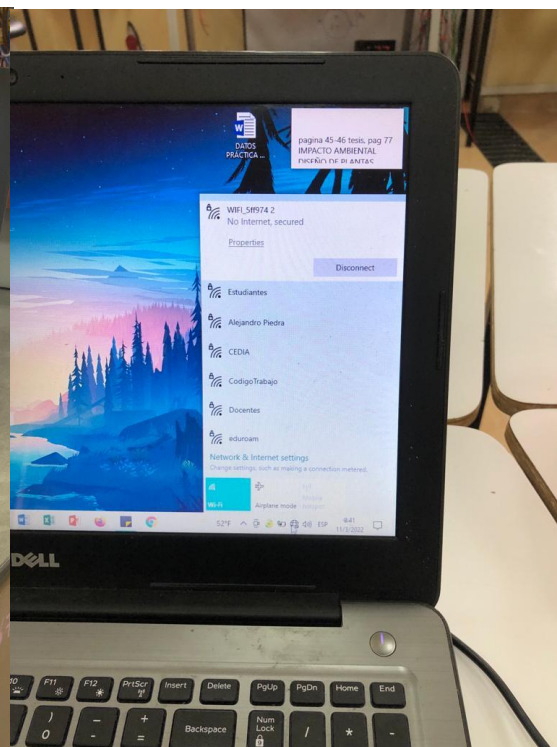
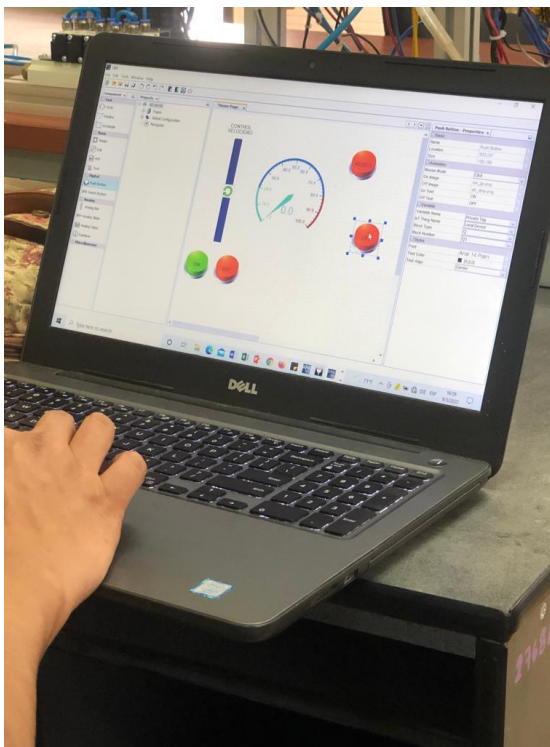
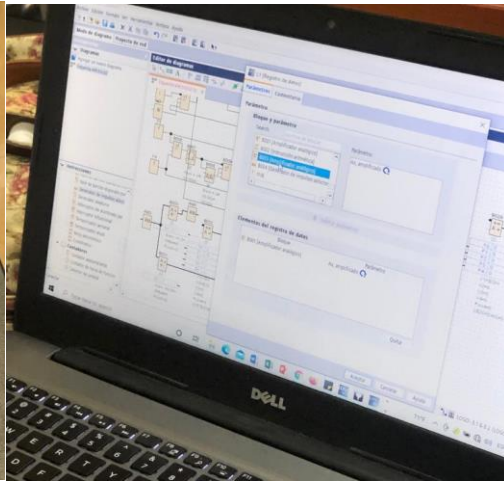
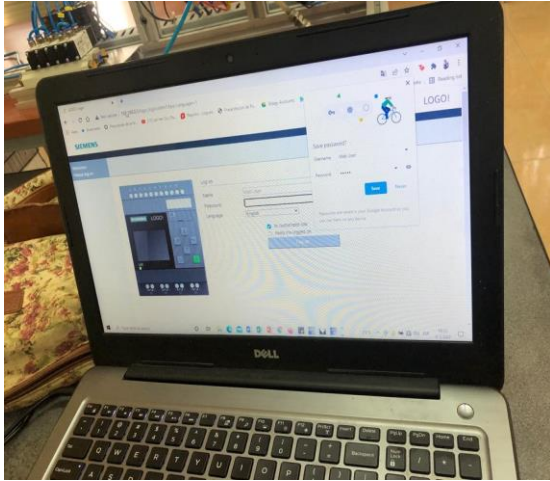
#### 8.4 Anexo 4: Instalación del voltímetro y amperímetro.



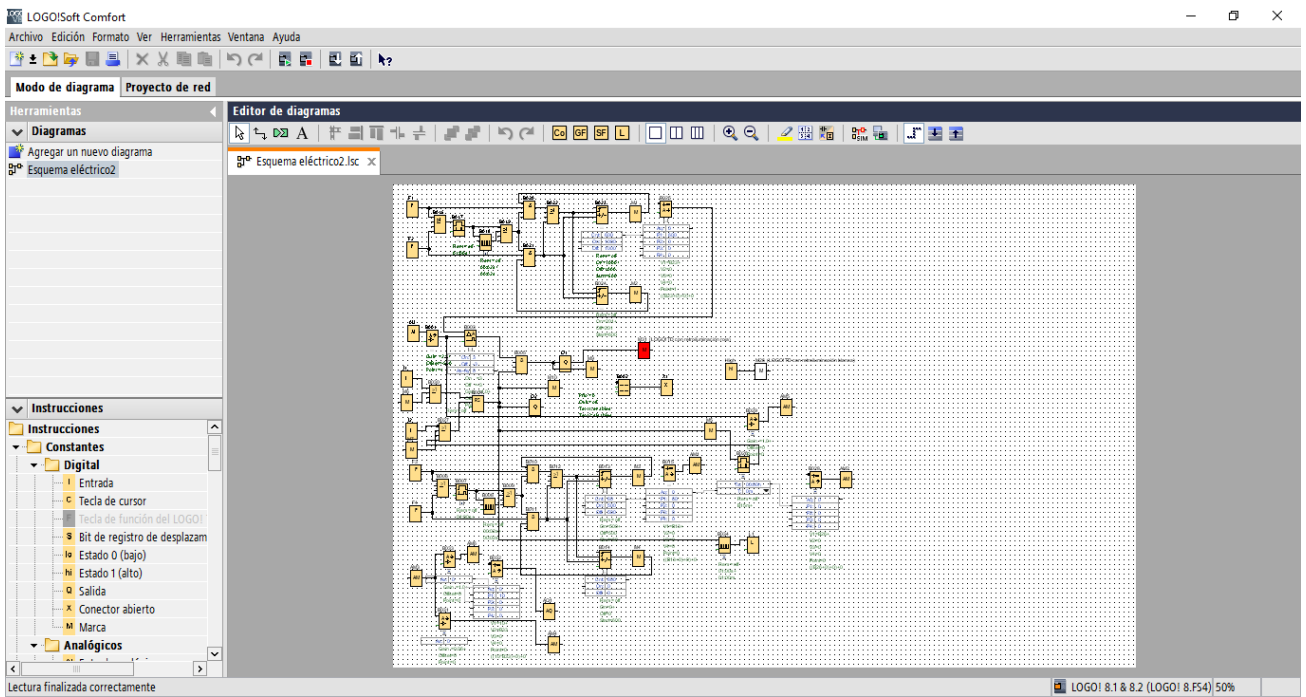
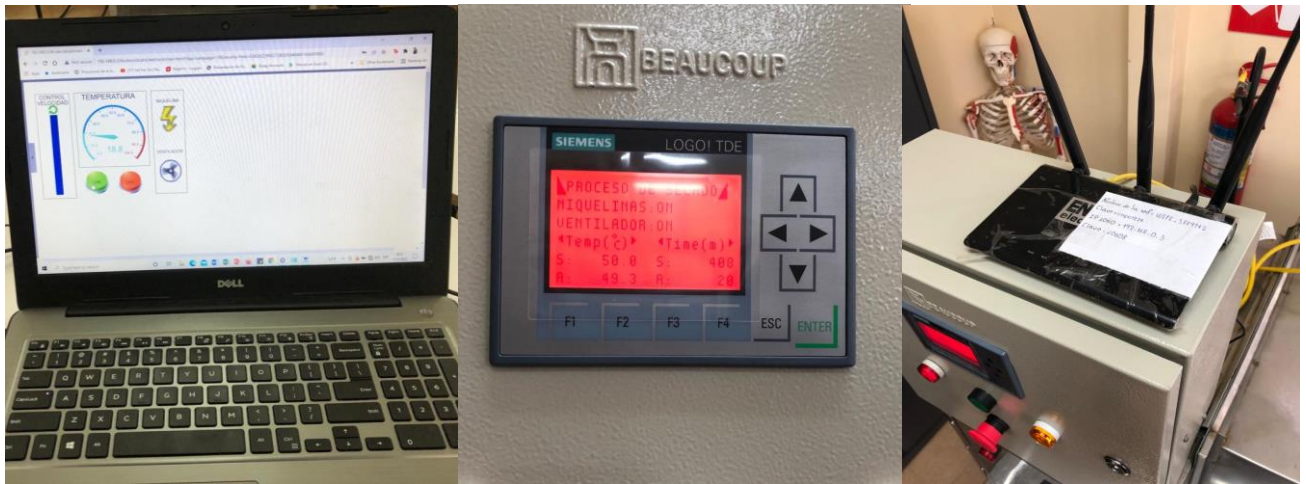
## 8.5 Anexo 5: Programación del control de velocidad.











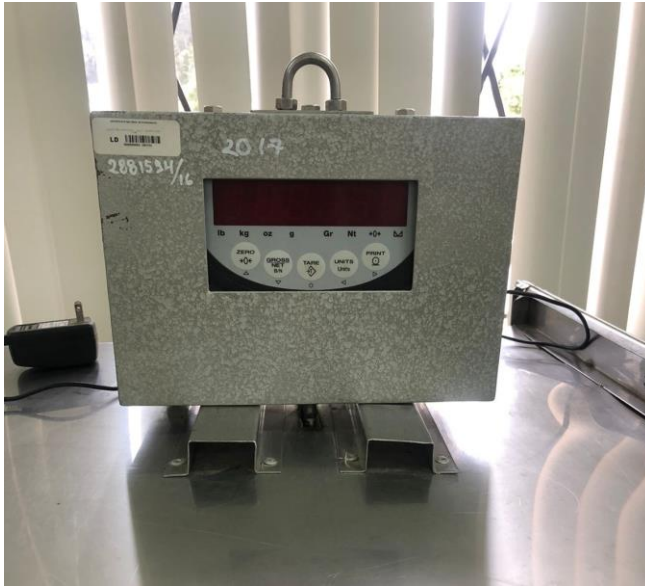
## 8.6 Anexo 6: Ensayo después de la aplicación del motor y variador de frecuencia.







### 8.7 Anexo 6: Readecuación de la balanza.





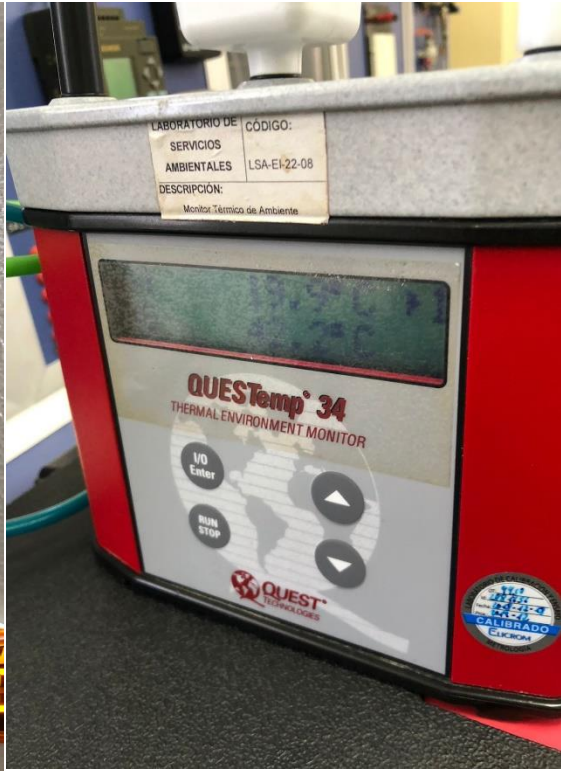
## 8.8 Anexo 8: Colocación de la balanza y encerado.

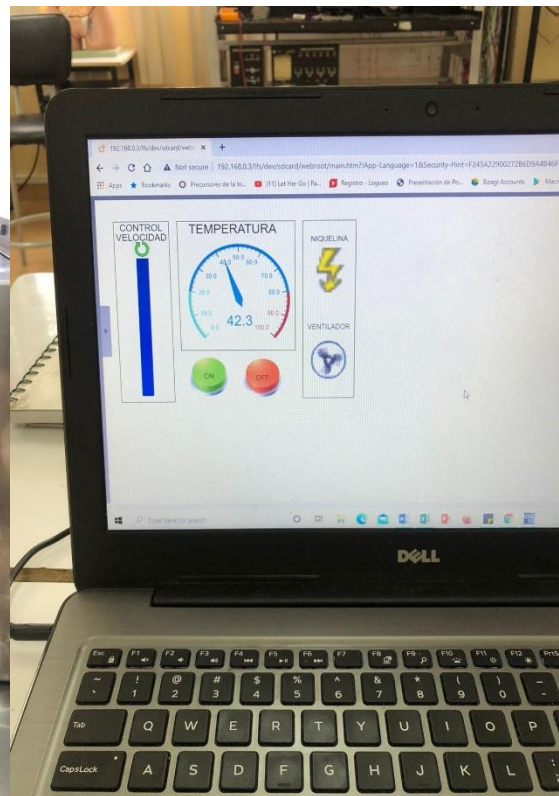


## 8.9 Anexo 9: Ensayo final con todas las aplicaciones y control de peso.







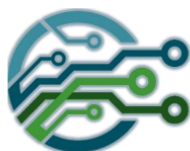












**MALDONADO  
& VASQUEZ  
INGENIERÍA**

RUC: 0104419999001

Euclides Salazar 154 y Av. Roosevelt

TLF: 032810982/ 0984068428

Latacunga - Ecuador

Latacunga, 2 de marzo del 2022

Señorita:

Alejandra Elizabeth Piedra Jara

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIRECCIÓN: Riobamba - Ecuador

TLF: 0997659431

Presente.-

COTIZACIÓN CALIBRACIÓN Y AJUSTE DE EQUIPO  
VL-2022-03-02

Cantidad proformada	Descripción	Precio unitario
1	Inspección técnica previa al mantenimiento del equipo: <ul style="list-style-type: none"><li>Digital Weight Indicator RICE LAKE 120</li></ul> Que incluye: <ul style="list-style-type: none"><li>Inspección de circuitos</li><li>Inspección de software</li><li>Verificación de funcionamiento de sensores</li><li>Inspección de pistas y cableado eléctrico y electrónico.</li><li>Comprobación de estado físico de pulsadores en teclados matriciales</li><li>Informe de inspección y proforma de mantenimiento (en caso de poder realizarse)</li></ul>	\$26.40
	SUBTOTAL	\$26.40
	IVA	\$ 3.60
	TOTAL	\$30.00

**NOTA:** Los precios aquí cotizados son en **dólares americanos**.

**Garantía:** No aplica

**Validez de la oferta:** 30 días

**Tiempo de entrega:** 15 días

**Forma de pago:** 100% contra entrega

Atentamente,

Ing. Anderson Vásquez

asvsquezc@ieee.org

Tfí Cel: 0984068428

Latacunga: Euclides Salazar 154 y Av Roosevelt

Servicio Técnico: 0987671643

Email: asvsquezc@ieee.org

TLF: 032810982/ 0984068428